



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Departamento de Administración de Empresas

## **TESIS DOCTORAL**

### ***DINÁMICA DE SISTEMAS APLICADA A LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO INVERSA***

Autor: Rafael Rodríguez Fernández

Directora: Beatriz Blanco Rojo

Director: Adolfo Blanco Martínez

Santander, Octubre 2015

## AGRACECIMIENTOS

A mis padres y a mi hermano que son mi mayor inspiración, por soportar todos estos meses de ausencia y por animarme siempre a continuar formandome y mejorar.

A mis directores de tesis Beatriz y Adolfo por haber sabido combinar de una manera genial su influencia motivadora respetando mi autonomía.

A Adolfo Blanco por ser el catalizador de todo este trabajo y que, como buen clarión que trae lo nuevo, siempre me ha aportado enfoques innovadores, revolucionarios, transformadores y divertidos.

A Beatriz Blanco por creer en mí, por haberse implicado tanto desde el principio y por no perder la perspectiva en momentos en los que no pude dedicarme a ésta tesis. Por haber seguido tan de cerca el trabajo, por marcarme los tiempos (esto lo necesitaba y mucho) y por aportar siempre mejoras de forma constructiva.

A mis compañeros del departamento de Administración de Empresas especialmente a Roger, Pedro, Maria Jesús, Emilio, Ainoa y Saúl de los que siempre he recibido apoyo y mucho cariño.

A mis abuelas, tios y primos especialmente a Dani, David, Silvia, Michel, Juanjo, Francois, Laura, Willy, Alita, Leo y Cristian con los que comparto una amistad muy especial más allá del vínculo familiar.

A mis amigos, concretamente al nucleo duro Jose, Fitin, Fan, Cris, Sandra, Fitina, Pedro, Eva, Dani, Irma, Jaime, Juan, Fernando, Kuko, Santos, Chusky, Cesar, Marco, David, Juanjo, Felipe, Santi, Raúl, Flavio, Angel, Chinin, Sandri, Vero, Tere, Yolanda, Kimiko, Beni, Aping, Rosy, Eunice, Karina y Edilene por hacerme sentir todos tan especial y tan querido.

*“La tarea no es predecir el  
futuro con precisión, sino elegir las  
políticas que conducen a uno mejor”  
(Jay. W. Forrester)*

## ÍNDICE

|                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Agracecimientos .....                                                                                   | 1         |
| Índice .....                                                                                            | 3         |
| <b>1. DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS DE LA TESIS .....</b>                                                     | <b>11</b> |
| 1.1. Justificación de la investigación.....                                                             | 11        |
| 1.2. Objetivos de la investigación.....                                                                 | 14        |
| 1.2.1. Objetivos generales .....                                                                        | 14        |
| 1.2.2. Objetivos específicos.....                                                                       | 16        |
| 1.3. Metodología y estructura de la tesis doctoral .....                                                | 17        |
| 1.4. Aportaciones y limitaciones de la tesis .....                                                      | 19        |
| <b>PRIMERA PARTE. MARCO TEÓRICO .....</b>                                                               | <b>21</b> |
| <b>2. EVOLUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN EN DIRECCIÓN DE OPERACIONES....</b>                                 | <b>21</b> |
| 2.1. Panorama actual de la dirección de operaciones .....                                               | 29        |
| 2.2. Futuras tendencias en dirección de operaciones .....                                               | 33        |
| <b>3. LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO INVERSA .....</b>                                           | <b>37</b> |
| 3.1. Concepto .....                                                                                     | 37        |
| 3.2. Las presiones legislativas.....                                                                    | 41        |
| 3.3. Iniciativas emprendidas por algunas empresas .....                                                 | 44        |
| 3.4. Razones para el estudio de la gscm y desafíos que conlleva su implantación .....                   | 45        |
| <b>4. ESTADO DEL ARTE DE LA GSCM .....</b>                                                              | <b>51</b> |
| 4.1. Clasificación según los temas estudiados de gestión de la cadena de suministro inversa .....       | 53        |
| 4.1.1. Importancia de la GSCM.....                                                                      | 56        |
| 4.1.2. Diseño verde: análisis del ciclo de vida (LCA) y diseño consciente del medioambiente (ECD) ..... | 59        |
| 4.1.3. Operaciones verdes.....                                                                          | 62        |
| 4.1.4. Conclusiones del capítulo .....                                                                  | 75        |
| 4.2. Clasificación según el objeto de la investigación.....                                             | 78        |
| 4.2.1. Construir teoría.....                                                                            | 80        |
| 4.2.2. Aplicación de teorías existentes .....                                                           | 94        |

|                                                                                                         |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.3. Proporcionar evidencias.....                                                                     | 101        |
| 4.2.4. Conclusiones del capítulo.....                                                                   | 108        |
| 4.3. Clasificación según el tipo de trabajo .....                                                       | 109        |
| 4.4. Clasificación según las técnicas de análisis de datos y el origen de los<br>mismos. ....           | 112        |
| 4.5. Clasificación según la procedencia de los grupos de investigación .....                            | 122        |
| 4.6. Conclusiones y limitaciones de la revisión bibliográfica. ....                                     | 128        |
| 4.7. Glosario de conceptos generales.....                                                               | 130        |
| <b>5. CONSIDERACIONES SOBRE LA DINÁMICA DE SISTEMAS.....</b>                                            | <b>137</b> |
| 5.1. Origen de la dinámica de sistemás .....                                                            | 137        |
| 5.2. Aplicaciones que se han dado a la dinámica de sistemas .....                                       | 138        |
| 5.3. Etapas de la metodología de la dinámica de sistemas .....                                          | 140        |
| 5.4. Limitaciones y ventajas que tiene la dinámica de sistemas.....                                     | 149        |
| 5.5. Recursos empleados para utilizar la dinámica de sistemas.....                                      | 150        |
| <b>SEGUNDA PARTE: DESARROLLO DEL MODELO DE LOGISTICA INVERSA<br/>MEDIANTE DINÁMICA DE SISTEMAS.....</b> | <b>153</b> |
| <b>6. INTRODUCCIÓN AL MODELO PROPUESTO.....</b>                                                         | <b>153</b> |
| 6.1. Asunciones y simplificaciones adoptadas en el modelo.....                                          | 159        |
| <b>7. DESCRIPCIÓN DE LOS FLUJOS MATERIALES DEL MODELO .....</b>                                         | <b>161</b> |
| 7.1. Descripción del flujo de materiales en la cadena directa.....                                      | 161        |
| 7.2. Descripción del flujo de materiales en la cadena inversa.....                                      | 164        |
| 7.3. Descripción de flujos de materiales por liquidación.....                                           | 169        |
| <b>8. DESCRIPCIÓN DE LOS FLUJOS DE INFORMACIÓN.....</b>                                                 | <b>173</b> |
| 8.1. Flujos de información vinculados a la cadena directa.....                                          | 173        |
| 8.2. Flujos de información vinculados a la cadena inversa.....                                          | 183        |
| <b>9. DESCRIPCIÓN DE LOS FLUJOS ECONÓMICOS .....</b>                                                    | <b>189</b> |
| 9.1. Ingresos.....                                                                                      | 189        |
| 9.2. Costes de la actividad .....                                                                       | 193        |
| 9.3. Prestamo .....                                                                                     | 198        |
| 9.3.1. Establecimiento del modelo de simulación del préstamo.....                                       | 198        |
| 9.3.2. Validación del modelo de simulación del préstamo.....                                            | 201        |
| 9.4. Línea de crédito.....                                                                              | 205        |
| 9.4.1. Establecimiento del modelo de simulación de la línea de crédito .....                            | 205        |
| 9.4.2. Validación del modelo de simulación de la línea de crédito.....                                  | 209        |

|                                                                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 9.5. Valor actual neto del conjunto de la red .....                                                         | 221        |
| <b>10. ECUACIONES DEL MODELO .....</b>                                                                      | <b>223</b> |
| <b>PARTE TERCERA: SIMULACIÓN .....</b>                                                                      | <b>253</b> |
| <b>11. CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO .....</b>                                                        | <b>253</b> |
| 11.1. Caso de estudio: baterías de ión litio de los vehículos eléctricos. ....                              | 253        |
| 11.2. Datos y parámetros empleados. ....                                                                    | 255        |
| 11.2.1. Curvas del ciclo de vida consideradas. ....                                                         | 255        |
| 11.2.2. Precios de partida. ....                                                                            | 258        |
| 11.2.3. Costes operativos de partida. ....                                                                  | 261        |
| 11.2.4. Costes de inversión y costes de desechado. ....                                                     | 263        |
| 11.2.5. Parámetros financieros .....                                                                        | 266        |
| 11.2.6. Evolución de los precios y costes considerados .....                                                | 267        |
| 11.3. Objetivos generales e hipótesis de estudio.....                                                       | 277        |
| 11.4. Escenarios.....                                                                                       | 278        |
| <b>12. ESCENARIO 1. CADENA DE SUMINISTRO DIRECTA CON VERTIDO<br/>INCONTROLADO DEL PRODUCTO USADO.....</b>   | <b>281</b> |
| 12.1. Comportamiento del modelo según los patrones de demanda del<br>producto.....                          | 282        |
| 12.1.1. Comportamiento con patrón de demanda 1. (Escenario 1).....                                          | 282        |
| 12.1.2. Comportamiento con los distintos patrones de demanda. (Escenario 1)<br>294                          |            |
| 12.2. Análisis de sensibilidad del escenario 1 .....                                                        | 302        |
| 12.2.1. Escenario 1. Variación de la Tasa de descuento del VAN entre un 3%<br>y un 7% .....                 | 302        |
| 12.2.2. Escenario 1. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años. ...                               | 305        |
| 12.2.3. Escenario 1. Variación de la tasa impuesta por la legislación entre<br>1.000 y 5.000 €/ud .....     | 308        |
| 12.2.4. Escenario 1. Variación de los tiempos de suministro de la cadena<br>directa entre 2 y 12 días ..... | 311        |
| 12.3. Conclusiones del análisis del escenario 1.....                                                        | 322        |
| 12.3.1. Conclusiones generales sobre el modelo (Escenario 1).....                                           | 322        |
| 12.3.2. Conclusiones específicas sobre el modelo en el caso de estudio<br>(Escenario 1).....                | 322        |
| <b>13. ESCENARIO 2. CADENA DE SUMINISTRO DIRECTA CON VERTIDO<br/>CONTROLADO DEL PRODUCTO USADO .....</b>    | <b>325</b> |

|            |                                                                                                                                        |            |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 13.1.      | Comportamiento del modelo según los patrones de demanda del producto (escenario 2) .....                                               | 326        |
| 13.1.1     | Comportamiento con patrón de demanda 1 (Escenario 2) .....                                                                             | 326        |
| 13.1.2.    | Comportamiento con los distintos patrones de demanda (Escenario 2) .....                                                               | 331        |
| 13.2.      | Análisis de sensibilidad del escenario 2 .....                                                                                         | 335        |
| 13.2.1.    | Escenario 2. Variación de la Tasa de descuento del VAN entre el 3 y el 7%.....                                                         | 335        |
| 13.2.2.    | Escenario 2.Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años.....                                                                   | 338        |
| 13.2.3.    | Escenario 2.Variación de la tasa impuesta por la legislación entre 1.000 y 5.000 €/ud. ....                                            | 341        |
| 13.2.4.    | Escenario 2.Efectos sobre la capacidad de recogida de la variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años. ....                     | 344        |
| 13.2.5.    | Efecto sobre los costes por desechado incontrolado de la variación de la tasa impuesta por la legislación.....                         | 346        |
| 13.3.      | Conclusiones del análisis del escenario 2. ....                                                                                        | 348        |
| 13.3.1.    | Conclusiones generales sobre el modelo (Escenario 2).....                                                                              | 348        |
| 13.3.2.    | Conclusiones específicas sobre el modelo en el caso de estudio (Escenario 2).....                                                      | 348        |
| <b>14.</b> | <b>ESCENARIO 3. CADENA DE SUMINISTRO DIRECTA CON VERTIDO CONTROLADO DE PRODUCTOS USADO Y REPROCESADO.....</b>                          | <b>351</b> |
| 14.1.      | Comportamiento del modelo según los patrones de demanda del producto. (Escenario 3).....                                               | 352        |
| 14.1.1.    | Comportamiento con patrón de demanda 1. (Escenario 3) .....                                                                            | 352        |
| 14.1.2-    | comportamiento con los distintos patrones de demanda. (Escenario 3) .....                                                              | 358        |
| 14.2.      | Análisis de sensibilidad del escenario 3.....                                                                                          | 363        |
| 14.2.1.    | Variación de la tasa de descuento del VAN entre un 3 y un 7%. Escenario 3. ....                                                        | 363        |
| 14.2.2.    | Variación del porcentaje de error entre un 5 y un 25%. Escenario 3.....                                                                | 366        |
| 14.2.3.    | Variación de los tiempos operativos entre 2 y 12 días y del tiempo de residencia entre 3 y 8 años. Escenario 3. ....                   | 369        |
| 14.2.4.    | Comportamiento del Coste diario de capacidad de reprocesado cuando el Euribor a un año varía entre el 0,5 y el 2,5%. Escenario 3. .... | 372        |
| 14.2.5.    | Comportamiento de la Capacidad de reprocesado cuando el porcentaje de error varía entre un 5 y un 25%. Escenario 3.....                | 374        |

|                                                                                                                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 14.2.6. Comportamiento del Ratio de reprocesado cuando varia el porcentaje de error entre un 5 y un 25%. Escenario 3. ....                                         | 376        |
| 14.3. Conclusiones del análisis del escenario 3 .....                                                                                                              | 378        |
| 14.3.1. Conclusiones generales sobre el modelo (Escenario 3) .....                                                                                                 | 378        |
| 14.3.2. Conclusiones específicas sobre el modelo en el caso de estudio (Escenario 3).....                                                                          | 378        |
| <b>15. ESCENARIO 4. CADENA DE SUMINISTRO DIRECTA CON VERTIDO CONTROLADO DEL PRODUCTO USADO Y CANIBALIZACIÓN DE MATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN.....</b>              | <b>381</b> |
| 15.1. Comportamiento del modelo según los patrones de demanda del producto. (escenario 4) .....                                                                    | 382        |
| 15.1.1- Comportamiento con patrón de demanda 1 (Escenario 4).....                                                                                                  | 382        |
| 15.1.2- Comportamiento con los distintos patrones de demanda. (Escenario 4) .....                                                                                  | 387        |
| 15.2. Análisis de sensibilidad del escenario 4.....                                                                                                                | 391        |
| 15.2.1. Variación de la tasa de descuento del VAN entre un 3 y un 7%. Escenario 4. ....                                                                            | 391        |
| 15.2.2. Variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos entre el 75 y 95%. Escenario 4.....                                                                | 393        |
| 15.2.3. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años. Escenario 4....                                                                                       | 396        |
| 15.3. Conclusiones del análisis del escenario 4 .....                                                                                                              | 399        |
| 15.3.1. Conclusiones generales sobre el modelo (Escenario 4) .....                                                                                                 | 399        |
| 15.3.2. Conclusiones específicas sobre el modelo en el caso de estudio (Escenario 4).....                                                                          | 399        |
| <b>16. ESCENARIO 5. CADENA DE SUMINISTRO DIRECTA CON VERTIDO CONTROLADO DEL PRODUCTO USADO, REPROCESADO Y CANIBALIZACIÓN DE MATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN.....</b> | <b>403</b> |
| 16.1. Comportamiento del modelo según los patrones de demanda del producto. (escenario 5) .....                                                                    | 404        |
| 16.1.1. Comportamiento con patrón de demanda 1 (Escenario 5).....                                                                                                  | 404        |
| 16.1.2- Comportamiento con los distintos patrones de demanda. (Escenario 5) .....                                                                                  | 409        |
| 16.2. Análisis de sensibilidad del escenario 5.....                                                                                                                | 414        |
| 16.2.1. Variación de la tasa de descuento del VAN entre un 3 y un 7%. Escenario 5. ....                                                                            | 414        |
| 16.2.2. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años. Escenario 5....                                                                                       | 416        |



|                                                                                                                                          |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 16.2.3. Variación del Porcentaje de error entre un 5 y un 25%. Escenario 5.                                                              | 419        |
| 16.2.4. Variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos entre un 75 y 95%. Escenario 5.                                          | 422        |
| 16.2.5. Variación de los tiempos operativos entre 2 y 12 días. Escenario 5.                                                              | 425        |
| 16.2.6. Comportamiento de los Productos incontroladamente desechados cuando varía el tiempo de residencia entre 3 y 8 años. Escenario 5. | 428        |
| 16.2.7. Comportamiento de los Productos desechados controladamente cuando varía el tiempo de residencia entre 3 y 8 años. Escenario 5.   | 430        |
| 16.2.8. Comportamiento de los Materiales a vertedero controlado cuando varía el tiempo de residencia entre 3 y 8 años. Escenario 5.      | 432        |
| 16.3. Conclusiones del análisis del escenario 5.                                                                                         | 434        |
| 16.3.1. Conclusiones generales sobre el modelo (Escenario 5)                                                                             | 434        |
| 16.3.2. Conclusiones específicas sobre el modelo en el caso de estudio (Escenario 5).                                                    | 434        |
| <b>17. COMPARACIÓN DE ESCENARIOS</b>                                                                                                     | <b>437</b> |
| <b>18. CONCLUSIONES</b>                                                                                                                  | <b>455</b> |
| 18.1. Conclusiones sobre los objetivos generales.                                                                                        | 456        |
| 18.2. Conclusiones sobre los objetivos específicos                                                                                       | 458        |
| 18.3. Aportaciones y limitaciones de la tesis.                                                                                           | 465        |
| 18.4. Futuras líneas de investigación.                                                                                                   | 466        |
| <b>Referencias bibliograficas y fuentes</b>                                                                                              | <b>469</b> |
| <b>Indice de tablas</b>                                                                                                                  | <b>487</b> |
| <b>Indice de ilustraciones</b>                                                                                                           | <b>491</b> |
| <b>Indice de gráficas</b>                                                                                                                | <b>493</b> |





## 1. DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS DE LA TESIS

### 1.1. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En esta tesis doctoral se presenta un modelo de simulación basado en dinámica de sistemas que propicia el estudio y la investigación de las cadenas de suministro inversas, que comienzan a establecerse en distintas empresas.

La elección del tema de investigación ha tenido diferentes causas y ha sido el resultado de un proceso de maduración de distintas ideas.

En este caso el interés de este doctorando por el campo de la Dirección de Operaciones y la Logística comienza durante su formación como ingeniero industrial cuando entra en contacto con las asignaturas del área de administración de empresas y decide realizar la intensificación en el área de Organización Industrial.

Una vez finalizados los estudios el desarrollo laboral de este doctorando ha seguido dos vías diferentes pero complementarias, por un lado como ingeniero industrial en una empresa privada de consultoría en la que lleva trabajando desde el año 2.001 y que desde el año 2011 es de su propiedad y por otro lado como profesor asociado del departamento de Administración de Empresas de la Universidad de Cantabria desde el año 2.001 impartiendo la docencia en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y Telecomunicación donde ha sido el responsable de las asignaturas de “Organización de la Producción”, “Gestión de la Calidad”, “Métodos cuantitativos y Teoría de la decisión” y “Administración y Dirección Estratégica de Empresas”.

En la empresa ha desarrollado más de trescientos proyectos y estudios relacionados con el diseño e implantación de diversas empresas industriales de producción y logística fundamentalmente en Cantabria.

A pesar de tratarse de dos entornos diferentes la constante ha sido siempre el trabajar con temas relacionados con la Dirección de Operaciones en entornos industriales por lo que a la hora de decidir un tema de investigación siempre se ha tenido claro que este era el área en el que el doctorando deseaba trabajar.

A nivel personal siempre he sentido pasión la naturaleza especialmente por el bosque y la montaña y en gran medida los responsables de esta pasión han sido mis padres ya que desde bien pequeño me llevaban a hacer rutas por la montaña y a conocer el medio, así que para mi fortuna terminé integrando una sólida conciencia medioambiental. Esta es la razón por la que también tenía bastante claro que en mi investigación debería tratar sobre temas medioambientales y de desarrollo sostenible.

La experiencia de años dedicado a la consultoría ha llevado al doctorando a la creencia de que para que se emprendan actuaciones respetuosas con el medio ambiente la legislación actual es condición necesaria pero no es suficiente.

La máxima de “Quien contamina paga” es disuasoria en gran medida, pero no va encaminada a fomentar actividades medioambientalmente sostenibles.

Sólo cuando los empresarios detectan la posibilidad de obtener beneficios de una determinada actividad ésta se potencia.

Así pues las preguntas que surgen a este respecto son:

- ¿Es posible ganar dinero y ser respetuoso con el medioambiente?
- ¿Es posible ganar dinero realizando actividades directamente vinculadas a la protección medioambiental?
- ¿Qué tipo de negocios pueden plantearse en este sentido?
- ¿Cómo podemos evaluar si estos negocios son o no viables?

Por otra parte durante la carrera el profesor Adolfo Blanco me introdujo en el enfoque de sistemas a través de su obra “Liderazgo Sistémico en la Organización” (Castresana, Blanco Martínez 2001). De ahí me encaminó hacia las lecturas de “La Quinta Disciplina” (Senge 1990) de Peter Senge donde tuve la ocasión de entrar en contacto por primera vez con la metodología de la Dinámica de Sistemas (System Dynamics SD).

Posteriormente estudié “Dinámica Industrial”(Forrester 1961a), “Urban Dynamics” (Forrester 1968b)y “World Dynamics”(Forrester 1971), de Jay W. Forrester, el creador de la metodología.

Con un enfoque más medioambiental también tuve ocasión de estudiar “Los límites del crecimiento”(Meadows et al. 1972) y “Más allá de los límites del

crecimiento” (Meadows 1992), que son obras en las que la dinámica de sistemas se aplica a aspectos medioambientales y que me han influido profundamente.

Desde entonces me he sentido muy atraído por esta metodología ya que es una herramienta muy versátil para el estudio y modelización de sistemas complejos.

Como docente siempre he buscado herramientas que faciliten el aprendizaje a mis alumnos y encuentro que la construcción de modelos en base a la Dinámica de sistemas tiene un potencial que debe explotarse más.

Por todo lo anterior el tema de estudio para la tesis de este doctorando debería cumplir con los siguientes requisitos:

- El tema deberá pertenecer al área de la Dirección de Operaciones y preferentemente centrado en las actividades logísticas.
- El tema deberá tratar sobre el desarrollo sostenible y ser de actualidad.
- El enfoque que se le daría al trabajo sería el de la Dinámica de Sistemas.

Es por esto que se ha decidido investigar la Dinámica de Sistemas aplicada a la Gestión de la Cadena de Suministro Inversa.

La correcta gestión de los elementos de la cadena de suministro es uno de los problemas centrales de la Dirección de Operaciones de la empresa.

La cadena de suministro directa, es decir, la que comienza con el abastecimiento de materias primas y finaliza con el suministro de un producto al consumidor final ha sido ampliamente estudiada en las últimas décadas.

Por el contrario no ha sido hasta el comienzo de la década de los años 90 cuando se ha empezado a prestar atención a la gestión de la cadena de suministro inversa que comienza con la recogida de los productos usados por los consumidores y termina con la aplicación de distintas alternativas de disposición. La tendencia en materia de legislación medioambiental apunta a que la presión normativa se incrementará en los productores en los próximos años por lo que el conocimiento sobre el comportamiento dinámico de este tipo de redes será crucial para la identificación de nuevas oportunidades de negocio.

Vlachos y Georgiadis (Georgiadis, Vlachos 2004) abren un camino muy prometedor mediante su propuesta de modelado de una red que incluye las cadenas de suministro directa e inversa de un producto para su estudio dinámico.

La principal ventaja del modelo de Vlachos y Georgiadis (Georgiadis, Vlachos 2004) radica en la integración en un único modelo de las cadenas de suministro directa e inversa y en que se realiza un análisis dinámico en función del ciclo de vida del producto.

Por otro lado el modelo que presentan muestra algunas limitaciones como son:

- 1) Sólo presenta dos escalones en la cadena directa por lo que no se puede apreciar el efecto de los retardos en la amplificación de los niveles de inventarios (efecto Bullwhip)
- 2) No tienen en cuenta el efecto de las desinversiones en las instalaciones de reprocesado y recogida.
- 3) Simplificación excesiva del abastecimiento de materias primas.
- 4) Considera sólo dos opciones de disposición: el reprocesado y el desechado controlado.
- 5) Se estudia el producto como un todo no a través de una descomposición de sus materiales básicos.
- 6) No contempla la liquidación de inventarios al final del ciclo de vida.
- 7) No considera los efectos económicos que se derivan de la legislación medioambiental.
- 8) No tiene en cuenta aspectos económicos para la financiación del modelo como préstamos o líneas de crédito.
- 9) No tienen en cuenta la posibilidad de vender los productos en mercados secundarios.
- 10) No presenta otras alternativas de aprovechamiento como es el caso de la canibalización de componentes.

## **1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. Objetivos generales**

En esta tesis se pretende desarrollar un modelo de simulación dinámica mediante la metodología de la dinámica de sistemas que contemple la mejora de las carencias observadas en modelos anteriores y que permita simular una red de logística inversa con opciones de:

- Reprocesado de productos
- Canibalización de componentes
- Venta en mercados secundarios de productos usados
- Venta en mercados secundarios de componentes desensamblados
- Desechado controlado de productos
- Desechado controlado de componentes desensamblados

Con el modelo se pretende estudiar los fenómenos dinámicos asociados a la red de logística inversa así como poder verificar qué opciones son las más adecuadas en función de las características de la curva del ciclo de vida del producto y de los parámetros económicos asociados.

Se tratará de verificar si se cumplen los objetivos generales de la tabla 1-1

Tabla 1-1 Objetivos Generales para el modelo de logística inversa.

| Nº | Objetivos Generales propuestos                                                                                                                                                                                                            |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | El modelo debe representar correctamente los desfases temporales fruto de los retardos, tiempos de suministro y tiempos de operación (Producción, reprocesado, inspección y desensamblado).                                               |
| 2  | El modelo debe representar los efectos de la acumulación de inventarios al producirse cambios en la demanda.                                                                                                                              |
| 3  | El modelo debe representar coherentemente las inercias propias del sistema al finalizar las ventas y mantener la estructura de recogida de productos usados y sus costes asociados.                                                       |
| 4  | El modelo debe estar preparado para representar distintas proyecciones de evolución de los precios y costes durante el periodo de simulación siendo así una buena herramienta para hacer estudios de tipo “qué pasa si...”.               |
| 5  | El modelo debe permitir la realización de análisis de sensibilidad mediante la variación de uno o varios de sus parámetros (análisis multivariante) y permitir ver la evolución de dicho análisis sobre todas las variables que se desee. |
| 6  | El modelo debe representar el efecto látigo o efecto bullwhip propio de las cadenas de suministro.                                                                                                                                        |
| 7  | El modelo debe representar la liquidación de intereses derivados de la aplicación de las condiciones de una línea de crédito.                                                                                                             |
| 8  | El modelo debe representar la liquidación de intereses derivados de la aplicación de las condiciones de la línea de crédito.                                                                                                              |
| 9  | El modelo debe generar un crecimiento y reducción de la capacidad de recogida que se ajuste razonablemente a la capacidad de recogida deseada.                                                                                            |
| 10 | El modelo debe representar los costes asociados al crecimiento o reducción de la                                                                                                                                                          |



|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | capacidad de reprocesado.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 11 | El modelo debe generar un crecimiento y reducción de la capacidad de reprocesado coherente con la capacidad de reprocesado deseada. Además debe permitir la venta de los activos vinculados a la planta de reprocesado.                                                                                  |
| 12 | El modelo debe representar cómo evoluciona el ratio de producción cuando se comienza a disponer de productos reprocesados a través del ratio de reprocesado.                                                                                                                                             |
| 13 | El modelo debe permitir la venta de productos usados a mercados secundarios a precios reducidos.                                                                                                                                                                                                         |
| 14 | El modelo debe representar cómo evoluciona el ratio de compra de materiales a medida que se comienza a disponer de materiales canibalizables a través del ratio de canibalización.                                                                                                                       |
| 15 | El modelo debe permitir la venta de materiales desensamblados a mercados secundarios a precios reducidos.                                                                                                                                                                                                |
| 16 | El modelo debe representar el flujo de materiales provenientes del desensamblado de productos teniendo en cuenta las posibles mermas por la aparición de materiales defectuosos.                                                                                                                         |
| 17 | El modelo debe integrar las opciones de reprocesado, canibalización de componentes, venta de productos en mercados secundarios, venta de materiales desensamblados en mercados secundarios, vertido controlado de productos, vertido controlado de materiales y su correspondiente vertido incontrolado. |

### 1.2.2. Objetivos específicos

En la tercera parte de la tesis se aplicará el modelo construido a un caso de estudio sobre las baterías de litio de los vehículos eléctricos en el que se verificarán las hipótesis que figuran en la tabla 1-2.

Tabla 1-2 Hipótesis a comprobar en el caso de estudio (Objetivos específicos)

| Nº Hipótesis | Hipótesis específicas a verificar para el caso simulado                                                                                       |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | El tipo de patrón de demanda influye en el Valor Actual Neto del conjunto de la red.                                                          |
| 2            | Los patrones de demanda con mayor número de ventas por período y mayor duración siempre producen los mejores resultados del Valor Actual Neto |
| 3            | Una tasa de descuento del Valor Actual Neto elevada producirá peores resultados que una tasa de descuento baja.                               |
| 4            | Un tiempo de residencia elevado producirá peores resultados que un                                                                            |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | tiempo de residencia bajo.                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 5  | Un Porcentaje de error en los productos usados elevado producirá peores resultados que un Porcentaje de error bajo.                                                                                                                                                                     |
| 6  | Un Porcentaje de productos desensamblados sin defectos elevado producirá mejores resultados que un tiempo de residencia bajo.                                                                                                                                                           |
| 7  | El hecho de establecer un sistema de recogida de productos usados reduce el impacto de las multas impuestas por vertido incontrolado lo suficiente como para hacer que el Valor Actual Neto sea superior al obtenido si no hay sistema de recogida.                                     |
| 8  | El hecho de establecer un sistema de recogida de productos usados unido al reprocesado hace que el Valor Actual Neto sea superior al obtenido si no hay sistema de recogida.                                                                                                            |
| 9  | El hecho de establecer un sistema de recogida de productos usados unido a la canibalización de componentes hace que el Valor Actual Neto sea superior al obtenido si no hay sistema de recogida.                                                                                        |
| 10 | El hecho de establecer un sistema mixto que integre la recogida de productos, la canibalización de componentes y el reprocesado hace que el Valor Actual Neto sea superior al obtenido si sólo se vincula la recogida al reprocesado y a la canibalización de componentes por separado. |

### 1.3. METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA DE LA TESIS DOCTORAL

La memoria de la tesis se estructura en dieciocho capítulos, las referencias bibliográficas y los índices de tablas, ilustraciones y gráficas.

Este primer capítulo recoge la definición de la investigación, se identifica el problema y se justifica la investigación, planteándose sus objetivos y las hipótesis de la investigación, así como la metodología aplicada en el desarrollo de la investigación.

Tras este primer capítulo comienza la primera parte de la tesis denominada Marco Teórico y que abarca desde el capítulo 2 hasta el capítulo 5.

En el capítulo 2 se realiza una revisión bibliográfica de la Dirección de Operaciones identificando las tendencias en la investigación de esta área.

En el capítulo 3 se analiza la Gestión de la Cadena de Suministro Inversa (GSCM) como uno de los temas de estudio de la Gestión de la Cadena de Suministro dentro de la Dirección de Operaciones.

En el capítulo 4 se realiza un estudio del estado del arte de la GSCM identificando los principales temas de estudio, procedencia de los grupos de investigación, propósitos de la investigación, técnicas de análisis empleadas, tipologías de los trabajos de investigación y origen de los datos.

En el capítulo 5 se presenta la Dinámica de Sistemas tratando sus orígenes, metodología, aplicaciones y recursos empleados.

En el capítulo 6 comienza la segunda parte de la tesis que tiene por objeto el desarrollo del modelo de red de logística inversa y se realiza una introducción al modelo.

En los capítulos 7,8 y 9 se analizan respectivamente los flujos materiales, de información y económicos del modelo desarrollado.

En el capítulo 10 se presentan las ecuaciones que rigen el modelo.

En el capítulo 11 comienza la tercera y última parte de la tesis que tiene por objeto el realizar una aplicación en un caso de estudio del modelo propuesto. En éste capítulo 11 se caracteriza el caso de estudio proponiendo los diferentes escenarios en los que se realizarán simulaciones.

La simulación de los diferentes escenarios del 1 al 5 se realiza en los capítulos del 12 al 16 correlativamente. En cada uno de estos capítulos se realiza la simulación de distintos patrones de demanda y se realizan análisis de sensibilidad según el método de Montecarlo sobre distintos parámetros.

En el capítulo 17 se realiza una comparativa entre los distintos escenarios estudiados.

Por último se presentan las conclusiones en el capítulo 18.

## 1.4. APORTACIONES Y LIMITACIONES DE LA TESIS

Esta tesis aporta valor desde diferentes puntos de vista.

Se desarrolla un nuevo modelo de Dinámica de Sistemas que ayuda a la toma de decisiones en una red de logística inversa y que sirve como laboratorio virtual para estudiar tendencias y para ensayar diferentes estrategias reforzando así el proceso del aprendizaje sobre la Gestión de la cadena de suministro. En las ilustraciones 6-2 y 6-3 se pueden consultar los diagramas causales que interrelacionan las variables del nuevo modelo propuesto.

Al mismo tiempo y gracias a que se ha puesto especial cuidado en denominar a las variables por sus nombres descriptivos se facilita en gran medida la comprensión y el debate de los elementos clave del modelo.

Se demuestra la utilidad de la Dinámica de Sistemas para manejar problemas complejos como los implicados en la Gestión de la Cadena de Suministro Inversa para los que no existen soluciones universales.

Desde el punto de vista metodológico, el enfoque utilizado es el tradicional enfoque de la Dinámica de Sistemas si bien se ha elaborado un caso de estudio sobre las baterías de litio de los automóviles eléctricos para verificar las prestaciones del modelo.

Se ha realizado también una revisión bibliográfica exhaustiva analizando los paradigmas de la Dirección de Operaciones, Gestión de la Cadena de suministro y Logística inversa.

En cualquier caso aunque un modelo de Dinámica de Sistemas y un análisis adecuado pueden mostrar futuros comportamientos de los sistemas ante varios escenarios conviene tener en cuenta la limitación de que todo modelo es reduccionista por definición. Se trata de una representación de una parte de la realidad, no de la realidad en sí misma. Durante el propio proceso de modelado es necesario renunciar a representar algunos de los elementos y algunas de las relaciones lo que supone una pérdida de fidelidad sobre la realidad a representar. Seleccionando bien los elementos

relevantes y formalizando sus interrelaciones correctamente el modelo será útil para los decisores.

## PRIMERA PARTE. MARCO TEÓRICO

### 2. EVOLUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN EN DIRECCIÓN DE OPERACIONES

La Dirección de Operaciones es una de las disciplinas más antiguas en el estudio general de la Administración. (Buffa 1980)

El campo de la Dirección de Operaciones es considerado generalmente como un crecimiento del movimiento de Dirección Científica fomentado por Frederick W. Taylor a finales del siglo XIX y comienzos del XX. La esencia de la filosofía de Taylor era que leyes científicas gobernaban cuanto podía producir un trabajador por día y es responsabilidad del administrador descubrir y usar dichas leyes para llevar a cabo la producción. Notables colaboradores de Taylor fueron Frank y Lillian Gilberth (estudio de movilidad y psicología industrial) y Henry L. Gantt (programación, planes de pagos y salarios) (Chase, Prentis 1987).

Los años 40 y 50 vieron un gran desarrollo del número de técnicas matemáticas, conocidas como métodos de Investigación de Operaciones o Dirección Científica, que se han convertido en parte de la caja de herramientas de la Dirección de Operaciones (Chase, Prentis 1987).

Esas matemáticas aplicadas modelaron clases de problemas y desarrollaron las teorías que los sustentan, lo que creó el Big Bang en la disciplina. Los problemas aplicados motivaron que el trabajo se orientara hacia el reparto eficiente y el control de recursos; esto fue analizado vía modelos matemáticos.

Aunque algunos artículos escritos en esta época se enfocaron en modelos descriptivos del comportamiento del sistema, el paradigma dominante fue la optimización del rendimiento del sistema en presencia de restricciones

La revista "Management Science" publicó su primer volumen en 1954. Durante esta época el tema común era el uso de un modelo matemático para analizar cómo mejorar el status quo y la Dirección de Operaciones era conocida como Dirección Industrial o Gestión de Planta (Chopra, Lovejoy & Yano 2004).

Los estudios del momento implícitamente asumían que:

- El sistema de producción estaba aislado del entorno y era estratégicamente neutral
- El sistema era frecuentemente caracterizado por aspectos técnicos

El objetivo final era maximizar la productividad del trabajo (Filippini 1997).

El período de finales de los 60's a los 70's vivió un número de cambios en el panorama científico, computación, tecnología transferida de las herramientas de investigación de operaciones, formación empresarial, y práctica en los negocios que precipitaron cambios importantes en el campo de la Dirección de Operaciones (Chopra, Lovejoy & Yano 2004).

De acuerdo con (Chase, Prentis 1987) los años 60 fueron una época en la que se escribieron libros específicos de Dirección de Operaciones y Buffa introdujo el término "operaciones" en el nombre del campo para indicar la aplicabilidad también a otros entornos no fabriles por lo que se extendió el campo de acción a las empresas de servicios.

A finales de los años 60 William Skinner introduce la estrategia de operaciones y este tema gana popularidad entre los investigadores. A finales de los años 80 más de 80 artículos y diversos artículos fueron escritos sobre este tema (Bayraktar et al. 2007).

Skinner indica que otras medidas estratégicas que se deben tener en cuenta son: frecuencia de los ciclos de distribución, fiabilidad de la distribución, calidad, flexibilidad por cambio de producto, y flexibilidad por cambio de volumen y sugiere que estos pueden ser más importantes para un consumidor que el coste más bajo (Chase, Prentis 1987).

Los cambios y desafíos de los años 70's y 80's generaron un sentimiento de crisis de identidad en la Dirección de Operaciones (Chopra, Lovejoy & Yano 2004).

El mayor desarrollo a comienzos de los años 70 fue la amplia aplicación de las computadoras a problemas de operaciones. Para los productores el gran punto de ruptura fue el desarrollo de los sistemas MRP, desarrollado por Joseph Orlicky de IBM y el consultor Oliver Wight (Chase, Prentis 1987).

Los sistemas del punto de pedido eran una de las primeras metodologías para la planificación de stocks. Con el avance de las computadoras se introdujo el MRP para la planificación de la producción en ítems con demanda dependiente. A finales de los 70 el MRP se extendió para incluir módulos de planificación de recursos como la planificación de la capacidad de recursos, control de las compras, aprovisionamiento y servicio al cliente. Esta evolución permitió la integración de diversas sub-funciones en el MRP II.

Al final de la década de los años 70, con el avance del concepto de calidad y las aplicaciones de la gestión de la calidad, los consumidores se convirtieron en el principal foco de atención de la Dirección de Operaciones. Esto inició el cambio desde “vende lo que produces” a “vende lo que el cliente quiere”.

A comienzo de los 80 un número de investigadores destacados en Dirección de Operaciones y académicos pensaron que el área debía reevaluarse. Las dos razones principales que dieron fuerza a esta creencia fueron:

- La Dirección de Operaciones no había ganado un estatus profesional acorde al de otras áreas funcionales de dirección.
- Las direcciones y técnicas de la investigación en el área parecían muy alejadas de lo que era considerado como importante por los profesionales en dirección de operaciones (Amoako-Gyampah, Meredith 1989).

El grupo elabora la Agenda de Investigación para los ochenta que para ellos debería estar inspirada por los siguientes principios:

- La Dirección de Operaciones debería reorientarse como Área Funcional de la Dirección de Empresas
- Las investigaciones en Dirección de Operaciones habrían de diferenciarse de la que tienen como inspiración fundamental la Investigación Operativa y la Dirección Científica
- Los estudios deberían profundizar en las relaciones entre el subsistema de Producción y Operaciones y las restantes áreas funcionales de la empresa.

Contenidos de la agenda de Investigación en Dirección de Operaciones para los ochenta aparecen en la tabla 2-1.

En términos de investigación en Dirección de Operaciones 1980 marcó una época, ya que comenzaron a publicarse dos revistas dedicadas exclusivamente a la



investigación en Dirección de Operaciones: *International Journal of Operations & Production Management* (IJOPM) en Europa y *Journal of Operations Management* (JOM) en América (Craighead, Meredith 2008).

Tabla 2-1. Contenidos de la Agenda de Investigación en Dirección de Operaciones.

| <b>Política (estrategia) de las operaciones fabriles (sección I)</b>                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>Control de las operaciones fabriles (sección II)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I. Decisiones estratégicas relacionadas con la Tecnología de Procesos, procedimientos operativos y organización de las operaciones<br>II. Estrategias de fabricación<br>III. Estrategias dominantes en el contexto internacional<br>IV. Análisis de las plantas focalizadas (Focused plants)<br>V. Calidad<br>VI. Localización | I. Planificación agregada y problemática de la desagregación<br>II. Integración del control de las operaciones con la Estrategia Competitiva de la Empresa<br>III. Diseño e implantación de sistemas de control de la producción, análisis de la confluencia entre objetivos y metas con los sistemas de rendimiento, medición y recompensa<br>IV. Uso de los sistemas MRP en las industrias de proceso continuo y en las de fabricación y ensamblaje<br>V. Control de inventarios<br>VI. Programación y secuenciación |
| <b>Dirección de las operaciones de servicios (sección III)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Productividad, tecnología y temas anexos (sección IV)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 1. Estrategia de posicionamiento, planificación de la capacidad y control de la capacidad<br>2. Énfasis en las operaciones de alto contacto con los clientes y gestión de la "personalización" y de la flexibilidad<br>3. Sistemas de generación y entrega de servicios<br>4. Productividad en los servicios                   | I. Evaluación de tecnologías de procesos emergentes.<br>II. Estudio de entornos apropiados para la introducción de nuevas tecnologías; transferencia y adaptación de nuevas tecnologías entre empresas; efectos a largo plazo de las nuevas tecnologías<br>III. Estudios a corto, medio y largo plazo sobre los determinantes de la productividad; calidad del entorno laboral y productividad                                                                                                                         |

Elaborada por (Álvarez Gil 1996)

En 1980, Hayes y Abernathy retoman las ideas iniciales de Skinner (1969) y señalan que el enfoque tradicional podría resultar inadecuado en un mundo caracterizado por el cambio rápido e impredecible, la escasez energética, la existencia de competencia ampliada a los mercados globales y con una necesidad constante de

innovación. Entre los factores que favorecerían esta renovación del enfoque pueden citarse el desarrollo de nuevos conceptos, técnicas y sistemas de dirección, la emergencia de nuevas tecnologías de proceso y la automatización de las plantas productivas, la globalización de la fabricación y la menor tolerancia a los defectos o la “industrialización” de los servicios; de entre todos ellos parece que, sin duda, el enfoque japonés ha sido el que mayor impacto ha tenido (Womack y otros 1990 en (Álvarez Gil 1996)).

Durante este período (años 80's), los investigadores comenzaron a examinar los temas de Dirección de Operaciones usando enfoques no pertenecientes a la Investigación Operativa, buscando explicar fenómenos que no podían ser explicados por la teoría existente (Chopra, Lovejoy & Yano 2004).

En los años 80 TQM, Just in time y MRP fueron consideradas como nuevas áreas de investigación mientras que las técnicas de ingeniería, la medida del trabajo y la localización de instalaciones perdieron terreno (Filippini 1997).

La simplicidad del JIT sorprendió y dejó perplejas a muchas organizaciones que usaban complejos sistemas de computación introducidos a comienzos de los años 80.

En contraste, el Kanban como técnica de control de inventarios integrada en la filosofía JIT soportaba entornos de producción tipo Pull donde los procesos de mejora continua y la implicación de los trabajadores eran factores críticos para el éxito.

El Just in Time proponía suministrar el producto adecuado al cliente adecuado, en el momento adecuado y en la cantidad adecuada, al tiempo que elimina la necesidad de mantener grandes inventarios. En principio, el JIT cuestiona todo en el sistema incluyendo la fuerza de trabajo, procesos y la organización. Mientras busca la excelencia en los detalles, el JIT intenta crear una auto-disciplina de simplicidad en el entorno de trabajo. Los operarios saben exactamente qué hacer en cada situación. Como sistema Pull, la filosofía JIT sitúa a las personas en el centro y los empleados son los principales conductores del sistema de producción (Bayraktar et al. 2007).

La técnica Seis Sigma fue introducida por Motorola en los años ochenta. Comparada con la Gestión de la Calidad Total, Seis Sigma facilita un enfoque medible para reducir la variabilidad en un proceso (Bayraktar et al. 2007).

En el contexto competitivo de la década de los ochenta, el tiempo comienza a ser considerado la variable a controlar más importante, lo cual ha llevado a la búsqueda

de una reducción generalizada del tiempo de proceso y a la aceleración de los desarrollos de nuevos productos y procesos (Álvarez Gil 1996).

A finales de la década de los 80 Chase (Chase, Prentis 1987) rebate y desmonta los cinco mitos más extendidos sobre Dirección de Operaciones:

Mito 1: La Dirección de Operaciones es realmente Investigación Operativa y Dirección Científica aplicada.

Mito 2: La Dirección de Operaciones es en realidad Ingeniería Industrial

Mito 3: La Dirección de Operaciones se aplica sólo a las fábricas

Mito 4: La Dirección de Operaciones es solo táctica no estrategia

Mito 5: La productividad laboral es el principal problema de la Dirección de Operaciones

En la década de los noventa los temas de interés en Dirección de Operaciones son los recogidos en la tabla 2-2 (Malhotra, Steele & Grover 1994).

La llegada de internet creó una nueva plataforma para la Dirección de Operaciones al conectar a las empresas y consumidores en una red de información sin costuras (Bayraktar et al. 2007).

Aparece la necesidad de integrar a los miembros de la cadena desde los suministradores hasta los consumidores. La gestión de la cadena de suministro (SCM) aparece como una herramienta para la integración inter-organizacional y se convierte en un tema muy popular en la época actual. A través de la SCM las organizaciones pueden consolidar sus flujos financieros, actividades de aprovisionamiento y logística (Bayraktar et al. 2007).

La Gestión de la Cadena de Suministro como la Dirección de Operaciones tiene sus fronteras poco claras (Chopra, Lovejoy & Yano 2004).

Si comparamos las numerosas definiciones de ambas encontraremos una clara evidencia de ello tal y como se muestra en las tablas 2-3 y 2-4.

Tabla 2-2. Temas de interés en Dirección de Operaciones.

| Temas reaccionados con aspectos estratégicos |                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Recursos Humanos                             | Gestión de la calidad<br>Desarrollo organizativo<br>Mano de obra directa                                                        |
| Planificación                                | Estrategia de fabricación<br>Planificación de producto<br>Planificación y control de la producción                              |
| Selección de procesos                        | Tecnología de procesos<br>Planificación de procesos                                                                             |
| Incertidumbre                                | Interfuncionalidad<br>Entorno externo                                                                                           |
| Estructura                                   | Planificación de la capacidad<br>Medición de costes<br>Distribución en planta<br>Localización                                   |
| Temas relacionados con aspectos tácticos     |                                                                                                                                 |
| Control de operaciones                       | Control de la calidad<br>Supervisión de la mano de obra<br>Control de inventarios                                               |
| Planificación de las operaciones             | Sistemas de planificación y control de la producción<br>Planificación de la producción<br>Programación maestra de la producción |
| Implementación                               | Gestión de materiales<br>Mantenimiento<br>Programación                                                                          |
| Aprovisionamiento                            | Compras<br>Gestión de la distribución                                                                                           |

Elaborada por (Álvarez Gil 1996)

Tabla 2-3 Definiciones de Dirección de Operaciones.

| DEFINICIONES DE DIRECCIÓN DE OPERACIONES |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AUTORES                                  | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Saladin (1984)                           | La Dirección de Operaciones es el campo de estudio que se ocupa de aquellas decisiones administrativas donde grupos de recursos limitados deben combinarse de alguna manera para ser transformados en grupos de bienes y servicios que ayuden a alcanzar las metas de la organización. |
|                                          | La Dirección de Operaciones es la administración de los                                                                                                                                                                                                                                |

|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chase (1987) (Chase, Prentis 1987)                     | procesos de producción por medio de los cuales se obtienen bienes y servicios.                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Van Dierdonk y otros (1993)                            | La Dirección de Operaciones es el conjunto, complejo e integrado, de todas las decisiones relacionadas con la elección, desarrollo y gestión de un sistema operativo                                                                                                                                                                                                                        |
| Knod y Schonberger (2001)                              | La Dirección de Operaciones es la dirección del proceso de transformación sistémica para convertir un grupo de inputs en outputs.                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Chase (2001)                                           | La Dirección de Operaciones se ocupa principalmente a la gestión de los recursos críticos para el crecimiento estratégico y la competitividad de una compañía u organización. Esto implica el diseño, operación, control y actualización de los sistemas responsables para la producción, uso de recursos humanos, equipamiento e instalaciones en el desarrollo de un producto o servicio. |
| (Chopra, Lovejoy & Yano 2004)                          | La Dirección de Operaciones es el diseño y dirección de procesos de transformación que crean valor para la sociedad.                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| (Miranda González et al. 2005)                         | Es la gestión del sistema de producción que se encarga de transformar los recursos productivos (inputs) de una organización en productos y servicios finales (outputs)                                                                                                                                                                                                                      |
| Krajewski, L.J., Ritzman, L.P. y Malhotra, M.K. (2007) | La Dirección de Operaciones es una función que permite a las organizaciones conseguir sus metas a través de la eficiente adquisición y utilización de recursos.                                                                                                                                                                                                                             |

Elaboración propia.

Tabla 2-4. Definiciones de Gestión de la Cadena de Suministro.

| DEFINICIONES DE GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO. (SUPPLY CHAIN MANAGEMENT) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AUTORES                                                                       | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| (Handfield and Nichols, 1999) en (Rao 2002)                                   | La gestión de la cadena de suministro abarca todas las actividades asociadas con el flujo y transporte de bienes desde las materias primas (extracción) hasta el consumidor final así como los flujos de información asociados. Materiales e información fluyen juntos a lo largo de la cadena. |
| (Chopra, Lovejoy & Yano 2004)                                                 | Dirección de todos los aspectos de suministrar bienes a los consumidores, desde la extracción de materias primas hasta el final de la vida útil, depósito y reciclaje, incluyendo producción, logística física, y servicio post-venta y garantía.                                               |
|                                                                               | La Gestión de la cadena de suministro puede definirse como un grupo de enfoques utilizados para la integración eficiente de suministradores,                                                                                                                                                    |

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Prahinski, Kocabasoglu 2006) | productores, almacenes y tiendas de manera que la mercancía es producida y distribuida en las cantidades correctas, en los lugares adecuados, y en el momento adecuado para minimizar el sistema de costes mientras se satisfacen los niveles de servicio requeridos. |
| Elaboración propia.           |                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Hay autores que mantienen que en los años 90 no se han producido cambios significativos en el área y de estudios realizados entre los años 90-95 se deduce que los principales temas de investigación son todavía la gestión de inventarios y la programación con un enfoque de investigación de operaciones y dirección científica. Sin embargo ha habido un marcado interés en cuestiones de calidad que incluyen control de calidad, ISO 9000 y TQM (Filippini 1997).

## 2.1. PANORAMA ACTUAL DE LA DIRECCIÓN DE OPERACIONES

En la actualidad el concepto de Estrategia de Operaciones está ampliamente aceptado y también se asume la existencia de la conexión Estratégica Empresarial – Estrategia de Operaciones – Estrategia de Procesos y su relación con la Estrategia de Productos (Álvarez Gil 1996).

Nuevas herramientas de Dirección o conceptos como la Gestión de la Relación con los Clientes (CRM), Gestión de las Relaciones con los Proveedores (SRM), Gestión de la Cadena de Suministro (SCM) y Gestión del Conocimiento (KM) se han convertido en modelos clave para el éxito de la empresa (Bayraktar et al. 2007).

Tras enfocarse en coste y calidad de bienes y servicios los prácticos de la Dirección de Operaciones han encontrado en la personalización en masa un camino para satisfacer la creciente variedad de necesidades del consumidor en un mercado orientado al cliente. Actualmente la competición basada en costes y calidad del pasado ha cambiado hacia el tiempo de respuesta y la personalización en masa (Bayraktar et al. 2007).

Comparado con etapas anteriores los horizontes temporales se han visto significativamente acortados. Los Directivos de Operaciones se encuentran en

constante necesidad de reconsiderar sus distribuciones en planta debido a los frecuentes cambios en el mix de productos y el volumen. Investigación y desarrollo y Marketing deben aparecer con nuevas ideas de desarrollo para ser capaces de satisfacer los rápidos cambios en las necesidades y preferencias del consumidor. La estrategia de negocios se debe renovar más rápido, mientras que las instalaciones de producción deben ser dirigidas eficientemente para vencer las reducciones en los ciclos de vida de los productos. Con técnicas como la Gestión de la Cadena de Suministro se establece un movimiento eficiente y programado de materiales e información entre suministradores y consumidores (Bayraktar et al. 2007).

El desarrollo de internet ha propiciado que muchos compradores y suministradores tengan acceso al mercado global. En esencia, cualquier empresa puede acceder al mercado 24 horas al día 7 días a la semana independientemente de donde esté localizada. La economía de internet ha reforzado el poder del consumidor al poder comparar las compras. Las tareas de compra y oferta pueden automatizarse permitiendo dedicar más tiempo a analizar datos mejor que a realizar tareas rutinarias (Bayraktar et al. 2007).

El poder de los consumidores es más importante en los negocios actuales, también han ganado poder las comunidades y la sociedad. Este cambio hace que sea necesario considerar las consecuencias que puedan tener una decisión operativa sobre el medio ambiente y la sociedad a largo plazo. Las organizaciones deben mostrar a la sociedad sus políticas respetuosas con el medio ambiente para tener buenas relaciones. Por ejemplo, las empresas manufactureras deben diseñar sus plantas en línea con las políticas sobre cómo gestionar los residuos industriales, la logística inversa o el reciclaje (Bayraktar et al. 2007).

En la actualidad los cambios ambientales y las expectativas de los consumidores y accionistas hacen que sea necesario que las organizaciones reestructuren sus áreas funcionales para tender hacia la integración interna y así poder responder. Una buena forma de conseguirlo es a través de la formación de grupos multidisciplinarios como por ejemplo los Grupos integrados de producto que se utilizan en manufactura donde los empleados trabajan juntos como un equipo desde el diseño del producto hasta el suministro del producto hasta el consumidor final e incluso la provisión de servicios post-venta.

En el período actual los temas de interés en Dirección de Operaciones han evolucionado y las herramientas y filosofías de producción empleadas son las que se recogen en la tabla 2-5.

Tabla 2-5. Herramientas actuales de la Dirección de Operaciones.

| <b>Herramientas que emplea la Dirección de Operaciones en la actualidad</b>                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ERP (Enterprise Resource Planning)<br/>(Sistemas de Gestión Empresarial)</b>                   | Integra las funciones de una organización en un único software y una base de datos centralizada donde varios departamentos pueden introducir más fácilmente información y comunicarse entre ellos. El ERP consta de soluciones modulares que permiten desarrollar mejoras en la mayor parte de las transacciones de las actividades de producción en una compañía.                                                                                                                  |
| <b>SCM (Supply Chain Management)<br/>(Gestión de la cadena de suministro)</b>                     | La SCM reduce las ineficiencias en la cadena de suministro a través de mejores materiales, información y gestión de los flujos de caja entre suministradores y consumidores.                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>CRM (Customer relationship management)<br/>(Gestión de la relación con los clientes)</b>       | Es una estrategia que se usa para aprender más sobre las necesidades y comportamientos de los clientes para desarrollar relaciones más fuertes. Se centra en que es mucho más efectivo en costes retener a un cliente actual que atraer a uno nuevo. Las aplicaciones de CRM se pueden usar para ofertar productos personalizados, campañas de marketing y una vía de comunicación adicional a través de Internet. La parte fundamental de toda estrategia CRM es la base de datos. |
| <b>SRM (Supplier Relationship Management)<br/>(Gestión de las relaciones con los proveedores)</b> | Es una reciente herramienta complementaria que busca la integración de la organización y dirigir mejor sus interacciones con los suministradores mediante la construcción de relaciones valiosas. Una correcta gestión de la relación con el proveedor proporciona a las organizaciones ventajas competitivas en términos de coste, productividad, calidad competitividad a través de una relación más fuerte, estrecha y segura con el suministrador.                              |



|                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>KM (Knowledge Management)</b><br/><b>(Gestión del conocimiento)</b></p> | <p>La gestión del conocimiento proporciona la solución para acceder y recopilar datos para la toma de decisiones. La minería de datos (DM Data Mining) y el descubrimiento de conocimiento (KD Knowledge Discovery), que han sido definidas por Frawley como “la extracción no trivial de implicaciones, desconocimiento previo e información potencialmente útil de datos”, son aplicadas para descubrir y presentar el conocimiento en formas comprensibles.</p>                                                                                                                                                                                                                     |
| <p><b>Filosofías de producción dominantes en la actualidad</b></p>            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p><b>Lean production</b><br/><b>(Producción ajustada)</b></p>                | <p>La producción ajustada es un enfoque que elimina desperdicios reduciendo costes en todos los procesos de producción y en la utilización de la fuerza laboral a través de un proceso de mejora continua. Se centra en la corriente de valor que sigue el producto en su manufactura, eliminando operaciones que no añaden valor como la sobreproducción, los tiempos de espera, los almacenamientos innecesarios, los transportes, los defectos, los movimientos innecesarios, y el sobre procesamiento o los procesos inadecuados. Se considera también un desperdicio, o “muda” en japonés, la sobre utilización del capital humano en términos de creatividad e inteligencia.</p> |
| <p><b>Agile manufacturing</b><br/><b>(Fabricación ágil)</b></p>               | <p>La agilidad es la habilidad de florecer y prosperar en entornos en cambios constantes e impredecibles. El cambio de tendencia hacia múltiples productos y tiempos de desarrollo y producción más cortos ha llevado a muchas empresas a tener problemas de inventario, capacidad y eficiencia. La implementación de la Fabricación ágil requiere que la empresa ya tenga implementados métodos de fabricación ajustada. (Lean Production).</p>                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p><b>Mass customization</b></p>                                              | <p>Iniciada por la idea de combinar las mejores partes de las destrezas y la producción en masa, la personalización en masa agrupa la producción y</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|                                  |                                                                                                                                                            |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>(Personalización en masa)</b> | suministro de una gran variedad de bienes y servicios personalizados en pequeñas cantidades con la calidad perfecta a bajo coste y en el momento adecuado. |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Elaborada a partir de (Bayraktar et al. 2007)

## 2.2. FUTURAS TENDENCIAS EN DIRECCIÓN DE OPERACIONES

El desarrollo de la Dirección de Operaciones ha sido confuso y turbulento, con una amplia variedad de vínculos con otras áreas como la Ingeniería Industrial, la Investigación Operativa o la Dirección Científica; es por ello que investigadores que se consideran a sí mismos como pertenecientes al área no estén muy seguros de lo que la Dirección de Operaciones constituye en la actualidad.

Hay muchos autores (Wassweiler; Hayes y Wheelwright en (Álvarez Gil 1996)) que señalan que uno de los principales problemas a los que se enfrentan las empresas del sector manufacturero y de servicios es la carencia de recursos humanos preparados con las destrezas necesarias para enfrentarse al rápido cambio tecnológico.

Por el contrario los altos cargos de las empresas plantearon nuevas demandas a la universidad, algunos (Taj, Hormozi y Mirshab en (Álvarez Gil 1996))) señalan que desde la industria reciben numerosas quejas sobre la inadecuada e insuficiente preparación de los licenciados universitarios, a los que no se les ha hecho ver la importancia de la Dirección de Operaciones.

El futuro de la disciplina debe ser evaluado según el nivel de modelos y teorías que desarrolle. En este aspecto hay disparidad de opiniones ya que algunos investigadores mantienen que uno de los principales problemas en la Dirección de Operaciones recae en los paradigmas, teorías y métodos de investigación empíricas que utiliza, mientras que otros mantienen que el tema principal de la Dirección de Operaciones debe ser el estudio de aspectos aplicados de la disciplina y no la generación de teoría (Filippini 1997). Si bien por otra parte hay voces que piden más generación de teoría y alejarse de la metodología de los cuestionarios y encuestas (Handfield 2006, Rungtusanatham, 2006 en (Craighead, Meredith 2008)).

Muchos académicos (como Marshall Fisher, 2005 en (Craighead, Meredith 2008)) indican que la naturaleza de la investigación debe moverse generalmente desde la

descripción (a través de casos de estudio por ejemplo) hacia la explicación de principios, de aquí hacia probar hipótesis para luego validar relaciones (a través de encuestas y entrevistas posiblemente) y después hacia la implementación y optimización. La evolución de la investigación en Dirección de Operaciones parece ir en la dirección opuesta: desde la optimización hacia el empirismo positivista y posiblemente hacia el interpretacionismo.

Es importante señalar no obstante que las herramientas y técnicas de la Dirección de Operaciones y la Investigación Operativa están orientadas a la solución. No están diseñadas o intentan reemplazar las decisiones de los directivos sino que proponen ayudas en el proceso de toma de decisiones suministrando una base cuantitativa. En otras palabras, las técnicas son ayudas artificiales diseñadas para suplementar el juicio de los directivos proporcionando una base fija de información objetiva. Aplicadas correctamente las técnicas pueden permitir a los directivos mejorar su proceso de toma de decisiones y la calidad de las mismas (Fuller, Mansour 2003).

Actualmente en Dirección de Operaciones hay desarrolladas muy buenas soluciones locales, pero se hace necesario desarrollar soluciones globales.

A continuación, en la tabla 2-6, se presenta un resumen de las necesidades de reorientación del área según diversos autores:

Tabla 2-6. Necesidades de reorientación de la Dirección de Operaciones según diversos autores.

| AUTORES          | NECESIDADES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Filippini 1997) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Muchos conceptos, modelos e ideas actuales en la literatura de Dirección de Operaciones deben ser reexaminados para extraer proposiciones y teorías preliminares que puedan ser usadas en estudios empíricos de exploración.</li> <li>- Debe prestarse mayor atención a la semántica de la disciplina. El uso de más de un término para describir una variable o fenómeno debe ser eliminado.</li> <li>- La seguridad en conceptos y medidas válidas debe ser desarrollada en la Dirección de Operaciones. Debe prestarse especial atención a la validación externa de los instrumentos para asegurar la validez de los resultados obtenidos en encuestas.</li> <li>- La investigación debe ser desarrollada con una perspectiva amplia para tener en cuenta las múltiples variables que</li> </ul> |

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | <p>intervienen en las operaciones. Debe existir integración con otras disciplinas como el comportamiento organizacional para obtener mayor conocimiento en relación a los recursos humanos y la organización industrial para considerar variables externas del entorno del negocio.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Debe prestarse más atención a explicar el fenómeno observado: para hacer esto deben reforzarse los métodos de análisis causal de relaciones entre variables, más allá, deben utilizarse más ampliamente estudios longitudinales.</li> <li>- Debe prestarse más atención a la comparación entre estudios y a la acumulación del conocimiento. Dos posibles caminos para conseguir esto pueden ser replicar estudios y comparando los resultados de estudios diferentes (por ejemplo meta análisis)</li> </ul> |
| (Chopra, Lovejoy & Yano 2004) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- El área necesita continuamente contrastar sus investigaciones frente a la realidad industrial.</li> <li>- Las elegantes matemáticas que dieron fuerza al área de la Dirección de Operaciones respondieron a problemas reales y pueden hacerlo otra vez.</li> <li>- La investigación debería volverse más explícitamente interdisciplinaria, como lo fue en los primeros años, porque los negocios actuales no están claramente divididos en áreas funcionales.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| (Bayraktar et al. 2007)       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollar el conocimiento flexible en la cadena de suministro para permitir la personalización en masa de productos y servicios.</li> <li>- Formar alianzas con empresas para ampliar la línea de productos o llenar vacíos en la línea de productos.</li> <li>- Desarrollar benchmarking para los pequeños negocios emprendedores y unirse en redes de suministro.</li> <li>- Permitir la integración sin costuras de múltiples y distintas entidades de negocio usando las modernas tecnologías de la información.</li> <li>- Integración de modelos humanos 3-D para simular la seguridad en el puesto de trabajo, la agilidad que jugará un importante papel en las distribuciones en planta, diseño de producto, producción y mantenimiento.</li> </ul>                                       |

Elaboración propia

Para conseguir cubrir las necesidades indicadas diversos autores proponen el desarrollo de las líneas de investigación que se recogen en la tabla 2-7.

Tabla 2-7. Futuras líneas de investigación en Dirección de Operaciones.

| AUTORES                       | FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Chopra, Lovejoy & Yano 2004) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión de la cadena de suministro</li> <li>- Interfaz Dirección de Operaciones – Marketing</li> <li>- Interfaz Dirección de Operaciones – Finanzas</li> <li>- Interfaz Dirección de Operaciones – Organización del trabajo (Factor Humano)</li> <li>- Dirección de Operaciones en las empresas de servicios</li> <li>- Estrategia de Operaciones</li> <li>- Diseño de procesos y mejoras</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| (Bayraktar et al. 2007)       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadenas de suministro bajo orden de pedido (Built to Order Supply Chains BOSC)</li> <li>- Extensiones de ERP y SCM: ERP II.</li> <li>- Desarrollo de nuevos productos/servicios (NPD-NSD New Product/Service Development)</li> <li>- Subcontratación (Outsourcing)</li> <li>- Sistemas de lazo cerrado vs sistemas de lazo abierto</li> <li>- Análisis de opciones reales (ROA) aplicado a la Dirección de Operaciones</li> <li>- Gestión de la cadena de suministros inversa (Green Supply Chain Management (GSCM))</li> <li>- Desarrollo de sistemas de medida actualizados</li> <li>- Colaboraciones comerciales y tecnologías de la información avanzadas.</li> <li>- Mejora en los métodos de pronósticos</li> <li>- Mejoras en la estrategia de operaciones</li> <li>- Dirección de operaciones en las empresas de servicios</li> <li>- Gestión del riesgo en las cadenas de suministro</li> </ul> |

Elaboración propia

De lo anterior se deduce que una de las áreas de la Dirección de Operaciones que más interés está cobrando en los últimos tiempos es la Gestión de la Cadena de Suministro (SCM) y dentro de esta la Gestión de la Cadena de Suministro Inversa (en adelante GSCM).

### 3. LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO INVERSA

De igual forma que sucedía con los conceptos de Dirección de Operaciones y con el de Gestión de la Cadena de Suministro la definición de Gestión de la Cadena de Suministro inversa se encuentra con las mismas dificultades para establecer sus límites.

La Gestión de la Cadena de Suministro Inversa (GrSCM del inglés Green Supply Chain Management) tiene sus raíces en la integración de los conceptos de gestión de la cadena de suministro y gestión medioambiental.

De igual manera que sucede con la Gestión de la Cadena de Suministro los límites de la GSCM suele depender de los objetivos del investigador (Srivastava 2007).

El objetivo de esta revisión bibliográfica es identificar los principales trabajos en investigación sobre GSCM integrando el pensamiento medioambiental en la gestión de la cadena de suministro así como clasificarlos para identificar vacíos, problemas y oportunidades para posteriores estudios e investigaciones. Además se presenta un modelo de simulación en función del ciclo de vida del producto.

#### 3.1. CONCEPTO

En la tabla 3-1 se indican algunas de las definiciones más ampliamente aceptadas:

Tabla 3-1 Definiciones de Gestión de la Cadena de suministro Inversa.

| DEFINICIONES DE GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO INVERSA. (GSCM) |                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AUTORES                                                            | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                                    |
| Green et al. 1996 en<br>(Zhu, Sarkis 2004)                         | La cadena de suministro inversa se refiere a la forma en la que las innovaciones en la gestión de la cadena de suministro y el aprovisionamiento industrial deben considerarse en el contexto medioambiental. |
| Narasimhan y Carter 1998<br>en (Zhu, Sarkis 2004)                  | La gestión de la cadena de suministro inversa consiste en la función de aprovisionamiento que implica actividades de reducción, reciclado, reutilización y sustitución de materiales.                         |
| Godfrey 1998, en                                                   | Es la práctica de monitoreo y mejora del desarrollo                                                                                                                                                           |

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Zhu, Sarkis 2004)            | medioambiental en la cadena de suministro.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| (Prahinski, Kocabasoglu 2006) | La Gestión de la cadena de suministro inversa se define como la gestión eficaz y eficiente de la serie de actividades requeridas para recobrar un producto desde el consumidor al punto de depósito o recobrar valor.                                                                                                                                                                                                                           |
| (Srivastava 2007)             | La Gestión de la Cadena de Suministro Inversa se define como una integración del pensamiento medioambiental en la gestión de la cadena de suministro, incluyendo el diseño del producto, el abastecimiento y selección de materiales, procesos de manufactura, distribución del producto final a los consumidores así como su gestión del producto al final de su vida útil.                                                                    |
| (Seuring, Müller 2008)        | Se define la Gestión de la cadena de suministro inversa como la gestión de los flujos de materiales, información y capital así como cooperación entre empresas a lo largo de la cadena de suministro mientras se establecen metas acordes con las tres dimensiones del desarrollo sostenible (económica, medioambiental y social) en la contabilidad que deriven de los requerimientos de los consumidores y partes interesadas (stakeholders). |

Elaboración propia.

Como se puede apreciar la diversidad de enfoques a la hora del análisis de la GSCM es variada, de aquí la falta de una definición unánime. A la vista de estas definiciones el nexo común que se puede identificar en todas ellas es que se orientan hacia la recuperación de valor del producto utilizado.

Los dos grandes grupos de actividades que conforman la GSCM son el Diseño Verde y las Operaciones Verdes.

Se define el **Diseño Verde** como la consideración sistemática de temas de diseño asociados con la seguridad medioambiental y la salud a lo largo del ciclo de vida completo del producto durante el desarrollo de nuevos productos y procesos. Este enfoque abarca muchas disciplinas incluyendo la gestión del riesgo medioambiental, seguridad del producto, seguridad y salud en el trabajo, prevención de la contaminación, conservación de recursos y gestión de desechos (Srivastava 2007).

En cuanto a las **Operaciones Verdes** estas comprenden todos los aspectos relativos a la manufactura/reprocesado, tratamiento, manejo, logística inversa y gestión de desechos una vez que ha finalizado la fase de diseño.

La **Manufactura verde** pretende reducir la carga ecológica utilizando los materiales y tecnologías apropiados mientras que el **Reprocesado** hace referencia a un proceso industrial en el que los productos inservibles y gastados son restaurados hasta recuperar sus condiciones iniciales (Srivastava 2007).

Una de las actividades fundamentales de las Operaciones Verdes es la **Logística Inversa** (RL del inglés Reverse Logistics). Este término en ocasiones es confundido con el de la propia GSCM por lo que se muestran en la tabla 3-2 las definiciones más empleadas:

Tabla 3-2. Definiciones de Logística Inversa.

| DEFINICIONES DE LOGÍSTICA INVERSA                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AUTORES                                                       | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| (Harrington L (1994) en (Jayaraman, Guide & Srivastava 1999)) | La logística inversa se ha definido como el conjunto de todas las actividades requeridas para mover un producto desde el punto de utilización al punto de disposición.                                                                                                                                |
| (Kroon, Vrijens 1995)                                         | La logística inversa se refiere a todas las habilidades de administración logística y actividades implicadas en reducir, gestionar y disponer los residuos peligrosos y no peligrosos de embalajes y productos.                                                                                       |
| (Fleischmann et al. 1997)                                     | La logística inversa abarca todas las actividades logísticas desde los productos utilizados por los usuarios hasta productos nuevamente utilizables para el mercado.                                                                                                                                  |
| (Rogers, Tibben-Lembke 1999)                                  | Proceso de planificación, implementación y control de la eficiencia, coste efectivo del flujo de materiales, inventarios en curso, bienes terminados e información desde el punto de consumo hasta el punto de origen con el propósito de recuperar o crear valor o gestionar su correcta deposición. |
| (Jayaraman, Guide & Srivastava 1999)                          | Conjunto de todas las actividades necesarias para mover un producto del punto de utilización al punto de disposición.                                                                                                                                                                                 |
| (Prahinski, Kocabasoglu 2006)                                 | La logística inversa es el proceso de recobrar un producto desde el consumidor final con el propósito de capturar valor o su apropiada disposición.                                                                                                                                                   |

Elaboración propia.



Tanto en la revolución de la calidad en los años 80 como en la revolución de la gestión de la cadena de suministro en los años 90 ha quedado claro que las mejores prácticas tienden hacia una integración de la gestión medioambiental con las operaciones cotidianas.

La importancia que está tomando la GrSCM está motivada por el creciente deterioro del medio ambiente, la escasez de los recursos materiales, el desbordamiento de los vertederos, el incremento de los niveles de polución, los requerimientos de la legislación y las presiones de los consumidores.

Muchos pensadores han adoptado el eslogan de “las tres R’s” (Reducción, Reutilización, Reciclado) para desarrollar la conciencia medioambiental en los procesos de producción. El reprocesado representa una combinación de “las tres R’s” en una misma actividad (Ferrer 2001).

La reutilización de productos y materiales no es un fenómeno nuevo. Restos de metales, reciclado de papel y envases de bebidas son buenos ejemplos de que ha estado ahí desde hace bastante tiempo. En estos casos la recuperación de productos es económicamente más atractiva que la disposición. En los últimos tiempos el crecimiento de los temas medioambientales ha dado a la reutilización una especial atención. Los esfuerzos en la reducción de desechos ha promovido la idea de los ciclos de materiales en lugar de la economía de un solo sentido.

Ejemplos de ítems que pueden ser directamente reutilizados sin reparación previa (a excepción de limpieza y un mínimo mantenimiento) son los envases retornables como las botellas, los pallets y los containers.

En algunos negocios los clientes tienen el derecho legal de devolver los productos adquiridos en un determinado espacio de tiempo. En estos casos el dinero es reembolsado total o parcialmente y el producto puede ser revendido si la calidad es suficientemente buena y si todavía existe demanda del mismo (Mostard, Teunter 2006).

Los ordenadores personales pueden ser reutilizados reemplazando su disco duro, su procesador, añadiendo memoria extra o un modem para internet, pero incluso su pantalla, teclado y memoria que puede ser vendida a una empresa de juguetes (Inderfurth, de Kok & Flapper 2001).

Generalmente, los embalajes retornados a la empresa suelen ser reutilizados. A menudo los pallets y envases pueden ser restaurados y devueltos para su reutilización (Rogers, Tibben-Lembke 1999).

El objetivo de la reparación es restaurar un producto que ha fallado para volver a hacerle funcionar correctamente con una ligera pérdida de calidad. Algunos ejemplos son los electrodomésticos, máquinas industriales y equipos electrónicos.

El reciclado implica la recuperación del material sin mantener la estructura original del producto. Ejemplos de materiales reciclables son los papeles, vidrios y plásticos.

El reprocesado conserva la identidad del producto inicial y pretende conseguir otra vez que el producto quede “como nuevo” llevando a cabo las actividades necesarias de desensamblado, rehabilitación y sustitución de elementos. Ejemplos de ítems a reprocesar son los aviones, las máquinas herramientas y las fotocopiadoras.

El reprocesado se ha utilizado en la industria del automóvil por algún tiempo. Hormozi (1997 en (Ferrer, Whybark 2001)) indicó que Henry Ford se dio cuenta de que los componentes valiosos del automóvil no debían ser descartados sino reprocesados. Así que la Ford Motor Company autorizó a algunos comerciantes para reemplazar componentes reprocesados. Pronto Ford estableció y sufragó una red de reprocesadores, autorizados para recuperar componentes de Ford a nivel regional.

### **3.2. LAS PRESIONES LEGISLATIVAS**

Muchos países industrializados de Europa han reforzado su legislación medioambiental cargando a los productores con la responsabilidad de los flujos de la logística inversa, incluyendo productos usados y desechos derivados (Fleischmann et al. 2000).

Hay numerosas formas de minimizar los costes medioambientales de la producción, pero la prevención de desechos de los productos elimina muchos costes medioambientales antes de que ocurran. Un sistema de recuperación de materiales, referido a productos medioambientalmente recuperables, incluye estrategias para incrementar el ciclo de vida de los productos consistentes en reparación, reprocesado, y reciclaje de productos (Jayaraman, Guide & Srivastava 1999).

La reducción de desechos ha recibido una creciente atención en los países industrializados en vista del agotamiento de las capacidades vertederos e incineración. Varios países han reforzado su legislación medioambiental cargando a los productores con la responsabilidad del ciclo de vida completo del producto. Una de las medidas más empleada es la obligación del retorno de los productos tras su uso. En Alemania por ejemplo la ordenanza de embalajes de 1991 requiere a las industrias para que recuperen los embalajes de los productos vendidos e impone un porcentaje mínimo de reciclado. La ordenanza de equipos electrónicos de 1996 establece objetivos de reciclaje similares para los productos electrónicos. En los Países Bajos la industria del automóvil es responsable del reciclado de todos los coches usados (Cairncross 1992 en (Fleischmann et al. 1997)). Pero incluso si la legislación no es muy rigurosa las expectativas de los consumidores realizan una gran presión para que las empresas tengan en cuenta aspectos medioambientales (Vandermerwe y Oliff, 1990 en (Fleischmann et al. 1997)). Una imagen “verde” se ha convertido en un elemento importante del marketing.

Para cumplir con dicha legislación varias compañías alemanas desarrollaron el sistema dual alemán (Duales System Deutschland “DSD”) para intentar alcanzar las cuotas de reciclado de los diferentes tipos de envases y embalajes. El DSD implica las siguientes condiciones (Rogers, D. 1999):

Primero da licencia para utilizar el símbolo del “punto verde” a los productores de embalajes quienes podrán el logo en sus embalajes.



Segundo las empresas contratarán con empresas de residuos privadas y con recolectores municipales la recogida de los embalajes que lleven el punto verde.

Tercero se contratará con organizaciones industriales que garantizarán que dichos envases serán reciclados (Rogers, Tibben-Lembke 1999).

La Comisión Europea presentó un grupo de propuestas de ley para la recogida y reciclado de desechos eléctricos y electrónicos en Abril de 1998. Esta ley establece objetivos para el desecho de componentes eléctricos y electrónicos (Waste Electrical and Electronics Equipment “WEEE”), para incrementar el reciclado, reducir las sustancias peligrosas, y hacer más seguros los desechos. El estándar incluye una

gran variedad de productos electrónicos como teléfonos móviles, video juegos, juguetes, electrodomésticos y material de oficina.

Noruega ha anunciado planes para requerir a los productores e importadores de equipos electrónicos (EE) para que recojan los productos utilizados y los materiales de desecho. Media docena de comercializadoras han accedido a recoger el 80% de los desechos de EE noruegos. Siguiendo el principio de que quien contamina paga el sistema será financiado con un impuesto en los nuevos productos electrónicos.

En Europa hay una fuerte tendencia hacia el retorno de los productos hacia el productor. En algunos países, algunas industrias están implicadas en programas de retorno voluntarios en los que los gobiernos y las industrias han acordado objetivos para que cumplan dichas empresas. Si los objetivos no son alcanzados estas empresas pueden verse afectadas por los objetivos marcados en la regulación.

En algunas industrias el gobierno realiza la recogida, como en la industria de las baterías Suecas. En algunos casos redes de instalaciones son organizadas y utilizadas por la industria como en el caso de los automóviles suecos y en otros casos las compañías deben crear sus propios centros de recogida.

Para algunos grupos de productos el volumen de materiales reciclados se ha visto incrementado debido al rápido crecimiento de la conciencia medio ambiental. Este desarrollo ha sido promovido por la legislación emergente (ej. Directiva 2000/53/EC sobre el final de la vida en los vehículos y la Directiva 2002/96/EC sobre los residuos de equipos eléctricos y electrónicos) (Brodin, Anderson 2008).

A pesar de que algunas empresas son proactivas en la implantación de medidas respetuosas con el medio ambiente son varios los estudios que confirman que la legislación refuerza el cuidado del medio ambiente.

En su tesis doctoral Sophie Bernard (Sophie Bernard 2010) a la pregunta “¿Es la democracia buena para el medio ambiente?” concluye que cuanto mayor es la regulación más limpias son las tecnologías de las empresas contaminantes y más respetuosa con el medio ambiente es la economía.

### **3.3. INICIATIVAS EMPRENDIDAS POR ALGUNAS EMPRESAS**

Ford Motor Company ha demandado que todos sus suministradores con plantas de producción, lo que supone cerca de 5.000 compañías en todo el mundo, deban obtener una certificación Third-party de sistemas de gestión medioambiental (EMS Environmental management system) para al menos una de sus plantas para finales del año 2001 y para todas las plantas para finales del 2003. Para ayudar a los suministradores a establecer su propio sistema de gestión medioambiental Ford ofrece seminarios y formación a sus suministradores. De igual manera Nestle Philippines también realiza seminarios y proporciona asistencia técnica a sus suministradores y contrata para ayudarlos a implantar un sistema de gestión medioambiental que sea consistente con el sistema de gestión medioambiental de Nestle (Rao 2002).

Volkswagen ha habilitado una planta de desensamblado en Alemania para recuperar (reciclado o reprocesado) todos los materiales de sus vehículos (Guide, Srivastava 1997a).

Hewlett-Packard, IBM, Xerox y Digital Equipment Corporation han introducido algunas iniciativas para hacer más verdes sus cadenas de suministro incluyendo la integración de los suministradores, distribuidores e instalaciones de reclamación. Con la creciente aceptación de los estándares medioambientales de la ISO 14000 hay un gran papel para la gestión de la cadena de suministro en la práctica medioambiental de la organización (Sarkis 2003). Con la llegada de las normas ISO 14000 las empresas tienen el potencial para analizar y optimizar su producción de acuerdo a aspectos medioambientales. Sin embargo la norma ISO 14000 se centra sólo en la producción en un único lugar y no refleja las tendencias actuales de producción de bienes en empresas distribuidas globalmente (Hirsch, Kuhlmann & Schumacher 1998).

Diversas empresas han formado en Estados Unidos el Consejo de Logística Inversa (Rogers, Tibben-Lembke 1999). Las empresas miembros fundadores de este Consejo son: Avey Dennison, Black & Decker Inc., Braun, Inc., Canadian Tire Corp., Cosmair, Egghead Software, Federated Department Stores, GENCO Distribution System, Home Shopping Network, Kmart Corporation, Levi Strauss & Co., Nike, Nintendo of America, Polo / Ralph Lauren, Sears, Roebuck, & Co., Sharp Electronics Corp., Sony Electronics Inc., Surplus Direct, Target Stores y Thompson Consumer Electronics.

La Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos (1993) (EPA Environmental Protection Agency) ha desarrollado un manual que sirve de guía para ayudar a los diseñadores a incorporar el diseño para el medioambiente en sus nuevos productos. De acuerdo con este manual el diseño del ciclo de vida del producto debe alcanzar cinco objetivos: conservación de los recursos, prevención de la polución, equidad medioambiental, ecología sostenible y viabilidad económica (Ferrer 2001).

Habitualmente las operaciones de reprocesado emplean menos materiales y energía ya que reutilizan algunas partes de productos usados. Algunos productores de equipos fotográficos (Kodak, Fuji, Agfa, etc) se han implicado en el reprocesado. Los productores de máquinas fotocopadoras y estaciones de trabajo también comienzan a implicarse (Ferrer, Whybark 2001).

La fabricación bajo pedido da a las empresas la oportunidad de personalizar los productos a los requerimientos de los consumidores. Con esto la empresa puede ver incrementada su demanda, pero debe encarar algunas dificultades. Una de estas es la relativa a las políticas de devolución de productos que en la actualidad son una herramienta para captar pedidos. Esto ha ganado peso con la aplicación masiva de internet para las ventas donde el consumidor no tiene la oportunidad de examinar físicamente el producto (Mukhopadhyay, Setoputro 2005).

Dell Computer permite devolver todo el nuevo hardware (incluso los pedidos personalizados), accesorios, partes y software no utilizado ni desembalado durante 30 días desde la fecha de compra. Apple Computer aplica la misma política durante un periodo de 14 días (Mukhopadhyay, Setoputro 2005).

El enfoque de la gestión y las operaciones medioambientales se está desplazando desde la optimización local de los factores medioambientales hacia la consideración de la cadena de suministro completa desde la producción, consumo, servicio al cliente y disposición final de los productos (Linton, Klassen & Jayaraman 2007).

### **3.4. RAZONES PARA EL ESTUDIO DE LA GSCM Y DESAFÍOS QUE CONLLEVA SU IMPLANTACIÓN**

Durante los últimos años muchas compañías han practicado la logística inversa primeramente por regulaciones estatales o presiones de agencias medioambientales,

no por ganancias económicas. La respuesta en este sentido ha sido reactiva (Rogers, Tibben-Lembke 1999).

La gestión de la cadena de suministro inversa no sólo proporciona beneficios medioambientales, sino que también genera beneficios económicos (Walton et al 1998 en (Zhu, Cote 2004)).

En 1994 la confederación de industrias británicas (CBI Confederation of British Industries) identificó los factores que proporcionan ventaja competitiva en el desarrollo medioambiental como las expectativas del mercado, la gestión del riesgo, el cumplimiento de las regulaciones y la eficiencia de los negocios (Zhu, Sarkis & Geng 2005).

Los temas económicos y medioambientales están entrelazados. Por ejemplo, si se incrementan los costes por disposición los costes de reducción de desechos serán más económicos, y la conciencia medioambiental de los consumidores representa una nueva oportunidad de mercado (Fleischmann et al. 1997).

Los costes logísticos se estiman en aproximadamente el 10,7 % de la economía norteamericana. Los costes de logística inversa en 1997 ascendieron a aproximadamente 35 millones de dólares en 1997 (Rogers, Tibben-Lembke 1999).

En algunas empresas las actividades de logística inversa pueden ser críticas para la compañía. Generalmente, en empresas donde el valor del producto es alto, o donde el ratio de retorno es alto se están realizando muchos esfuerzos para mejorar los procesos de retorno. La industria de componentes de automoción es un buen ejemplo. El mercado de componentes para la automoción reprocesados se estima en 36 millones. Por ejemplo, del 90 al 95 por ciento de todos los starters y alternadores vendidos para repuestos son reprocesados (Rogers, Tibben-Lembke 1999).

Un producto puede ingresar en la cadena inversa por diversos motivos como puede verse en la tabla 3-3.

Tabla 3-3. Razones para que un producto ingrese en la cadena inversa

| Fuente     | Razones                                                                                                                                                                                  |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Consumidor | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Producto no cubre las necesidades de los consumidores</li> <li>2. El consumidor no entiende cómo utilizar adecuadamente el producto</li> </ol> |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            | <ol style="list-style-type: none"> <li>3. El producto era defectuoso</li> <li>4. El consumidor abusa de una política de retornos liberal.</li> <li>5. El producto ha quedado obsoleto</li> <li>6. El producto se encuentra fuera de uso</li> </ol>                                                                                                                                    |
| Detallista | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Envases/Embalajes de productos caducados.</li> <li>2. Productos estacionales</li> <li>3. Productos reemplazados por nuevas versiones</li> <li>4. Producto descatalogado</li> <li>5. Inventarios del detallista demasiado altos (sobre stock, retornos de marketing o bajo movimiento)</li> <li>6. Cese de negocio del detallista</li> </ol> |

Adaptada a partir de (Rogers, Tibben-Lembke 1999)

Razones para el estudio de la gestión de la cadena de suministro inversa.

1. La cantidad de productos retornados puede ser alta, en algunas industrias puede incluso llegar al 50% de las ventas (Trebilcock 2002, en (Prahinski, Kocabasoglu 2006)).

2. Las oportunidades de venta en mercados secundarios y globales han incrementado la generación de reventas donde antes se desechaban los productos (Meyer 1999, en (Prahinski, Kocabasoglu 2006)).

3. La legislación para la recuperación de productos al final de su vida útil ha proliferado en las últimas décadas en Europa y Estados Unidos requiriendo a las empresas la gestión del producto a lo largo de toda su vida útil (Fishbein 1994 y Toffel 2003 en (Prahinski, Kocabasoglu 2006)).

4. Los consumidores han presionado exitosamente a las empresas para que tomen la responsabilidad de los productos que contienen residuos peligrosos.

5. La capacidad de los vertederos es cada vez más limitada y cara. Las alternativas como el reempaquetado, el reprocesado y el reciclado se hacen cada vez más presentes y viables.



6. Los costes asociados a las operaciones de la logística inversa pueden ser muy ventajosos. El coste de recuperar y reprocesar un producto es normalmente un 40-60% menos que realizar los productos nuevos (Giuntini and Gaudette (2003) en (Chen, Chang 2012a).

Desafíos a superar para la implantación de la GSCM:

1. Muchos sistemas logísticos no están equipados para manipular el movimiento de productos a través de la red de logística inversa.

2. Los costes de la distribución inversa pueden ser mayores que los producidos en el movimiento de los productos originales hasta el consumidor final en las redes directas tradicionales.

3. Los bienes retornados no pueden ser transportados, almacenados o manipulados de la misma manera que en los canales directos (Sarkis (1995 en (Jayaraman, Patterson & Rolland 2003)).

4. En comparación con la cadena de suministro directa la cadena de suministro inversa tiene algunos cambios. Por ejemplo, las operaciones de reacondicionamiento son complicadas debido a las partes disponibles, la percepción de los consumidores de una menor calidad y las dificultades para establecer un mercado de reventa y fijación de precios para productos reacondicionados (Prahinski, Kocabasoglu 2006).

5. El retraso en los retornos, algo especialmente importante en productos tecnológicos y sensibles al tiempo.

6. Variaciones en la cantidad de productos retornados.

7. Grado y variedad de defectos en los productos retornados

8. Desconocimiento de los niveles de calidad de los productos desde los consumidores y los minoristas (Prahinski, Kocabasoglu 2006)).

9. Una de las dificultades en la gestión retornos es la diferencia de objetivos entre los productores y los detallistas. Cuando un detallista quiere retornar un ítem, el detallista y el productor pueden estar en desacuerdo en alguno de los siguientes aspectos (Rogers, Tibben-Lembke 1999): a) Condiciones del ítem, b) Valor del ítem y c) Tiempos de respuesta.

Mann y otros (2010; 1) realizan una revisión bibliográfica para identificar los principales drivers que afectan a las cadenas de suministro de ciclo cerrado. En la tabla 3-4 se indican dichos drivers por grupos:

Tabla 3-4 Drivers que afectan a la GSCM.

|                                      |                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Drivers que afectan a la GSCM</b> | <b>Procesos de negocio interno</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Garantías</li> <li>-Servicio y reparaciones</li> <li>-Retornos de productos y recuperaciones</li> <li>-Reclamaciones y retiradas de producto</li> <li>-Devoluciones</li> <li>-Reformas y reprocesado</li> <li>-Retornos de excedentes de material</li> <li>-Costes de eliminación</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                      | <b>Sociales</b>                    | <p>Stakeholders primarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Proveedores</li> <li>- Clientes</li> <li>- Empleados</li> <li>- Consorcios tecnológicos</li> <li>- Innovadores complementarios</li> <li>- Legisladores y reguladores</li> </ul> <p>Stakeholders secundarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comunidades locales</li> <li>- Grupos activistas</li> <li>- Organizaciones religiosas</li> <li>- Asociaciones de comercio</li> <li>- Grupos medioambientales</li> <li>- Defensores sociales</li> <li>- Representantes de la comunidad</li> <li>- Defensores de la seguridad</li> </ul> |
|                                      | <b>Financieros</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Reducción de costes</li> <li>- Maximización de los ingresos</li> <li>-Maximización de los beneficios</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                      | <b>Consumidor</b>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Requerimientos específicos del consumidor</li> <li>- Satisfacción del cliente</li> <li>- Servicio al consumidor</li> <li>- Derechos del consumidor</li> <li>- Demandas del consumidor acerca de la "Imagen verde y sostenible".</li> <li>- Nuevos mercados</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                      | <b>Medioambientales</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sostenibilidad medioambiental</li> <li>- Análisis del ciclo de vida</li> <li>- Reducción del impacto medioambiental</li> <li>- Costes de reducción de actividades medioambientales</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                      | <b>Legislativos</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Responsabilidad de recuperar productos al final de su ciclo de vida</li> <li>- Obligación de reciclado</li> <li>- Contenido en nuevos productos</li> <li>- Ordenes gubernamentales de retirada</li> <li>- Niveles de emisión</li> <li>- Otras leyes medioambientales</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Fuente (Mann et al. 2010; 1)



## 4. ESTADO DEL ARTE DE LA GSCM

“Una revisión bibliográfica es un diseño sistemático, explícito y reproducible para identificar, evaluar e interpretar el cuerpo existente a partir de documentos recogidos (Fink,1998 en (Seuring, Müller 2008))”.

El objeto de esta revisión inicial es identificar los principales trabajos de investigación sobre Gestión de la Cadena de Suministro Inversa (GSCM) que integran el pensamiento medioambiental en la Gestión de la Cadena de Suministro y después clasificarlos para identificar gaps, temas de estudio y oportunidades para futuras investigaciones.

Una revisión bibliográfica es un paso necesario para estructurar el campo de investigación además de ser una parte fundamental de la investigación bien conducida.

El proceso de análisis empleado consta de los siguientes pasos:

**Definición de las unidades de análisis:** Las unidades de análisis de este trabajo han sido artículos/trabajos de investigación. En total para este estudio se han revisado 189 unidades de análisis de los que 185 son artículos y 4 son trabajos de investigación.

**Clasificación:** Se han realizado las siguientes clasificaciones en función de varios aspectos:

Temas de estudio / Año

Objetivo del estudio /Año

Tipo de estudio / Año

Metodología de estudio / Año

Metodología de estudio / Origen de los datos de estudio

Metodología de estudio / Temas de estudio

Procedencia de los grupos de investigación / Año

Selección de las publicaciones y delimitación del campo de estudio: Para una revisión bibliográfica es particularmente importante definir claramente los límites para delimitar la investigación. Las limitaciones de este trabajo son las siguientes:

Este trabajo está enfocado sólo a artículos de investigación (papers) publicados en revistas de investigación de administración de empresas en inglés. Esto excluye artículos en otras lenguas así como publicaciones de enfoque más técnico o político.

Los trabajos de investigación que tienen un enfoque más ecológico que orientado a la cadena de suministro (aprovisionamiento verde, ecología industrial o ecosistemas industriales) han sido excluidos. Esto se justifica ya que el objetivo que aquí se persigue estudiar la integración del pensamiento medioambiental en la gestión de la cadena de suministro desde la perspectiva de la logística inversa.

Los artículos que se centran sólo de aspectos éticos o en códigos de conducta de los suministradores tampoco han sido seleccionados para esta revisión al no estar directamente vinculados con los aspectos a tratar.

La búsqueda de artículos se ha realizado en base a búsqueda de palabras clave y para ello se ha trabajado con las bases de datos ISI Web of Knowledge, ABI/INFORM Global, ProQuest Computing, Elsevier ([www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)), Springer ([www.springerlink.com](http://www.springerlink.com)) y Wiley ([www.wiley.com](http://www.wiley.com)). El criterio seguido para seleccionar un artículo ha sido el número de citas que lo han referenciado, de esta manera se pretende revisar los artículos que han tenido más influencia en el desarrollo del área. A parte de realizar esta búsqueda de citas también se han seleccionado los artículos que figuren en las revistas que, según el estudio de (Barman, Hanna & LaForge 2001), tengan reconocido prestigio en el campo de la Dirección de Operaciones como Journal of Operations Management (JOM), International Journal of Operations & Production Management (IJOPM) e Production and Operations Management (POM). Por otro lado se han seleccionado los artículos que figuran en las publicaciones específicas del área de Gestión de la Cadena de Suministro como The Journal of Supply Chain Management, International Journal of Logistics Management y Supply Chain Management.

El periodo de estudio considerado ha sido desde 1989 hasta 2015. Este período se justifica ya que el debate sobre la gestión de la cadena de suministro inversa (GSCM) data de esa fecha (Srivastava 2007).

Evaluación del material: El material ha sido analizado y clasificado según los criterios indicados en el apartado clasificación. Esto permite identificar cuestiones relevantes e interpretar los resultados.

#### 4.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN LOS TEMAS ESTUDIADOS DE GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO INVERSA

A continuación, en la tabla 4-1, se presenta a modo de resumen la clasificación de los trabajos según el esquema de temas de estudio de la GSCM anteriormente comentada:

Tabla 4-1- Clasificación de artículos según el tema de estudio de la GSCM

|                    |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Operaciones verdes | Gestión de desechos               | (Caruso, Colorni & Paruccini 1993)(Bloemhof-Ruwaard, Salomon & Van Wassenhove 1996)(Bloemhof-Ruwaard et al. 1996)(van der Laan, Salomon 1997)(Hastrup et al. 1998)(Giannikos 1998)(Teunter, Vlachos 2002)(Masui 2005)(Mukhopadhyay, Setoputro 2005)(Quak, de Koster 2007)(Hanafi, Kara & Kaebnick 2008)(Gobbi 2011; 6)(Demajorovic et al. 2012; 1)(Rose, Stevels & Ishii 2000)(Lozada Rodríguez 2014; 1)(Kwateng et al. 2014; 1)(Mar-Ortiz, Adenso-Díaz & González-Velarde 2011; 1)(Quintana et al. 2013; 1)(Guzman-Siller 2009; 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                    | Logística inversa y Diseño de red | (Kelle, Silver 1989)(Pohlen, Farris 1992)(Crainic, Gendreau & Dejax 1993)(Jayaraman, Srivastava 1995)(Fleischmann et al. 1997)(Hirsch, Kuhlmann & Schumacher 1998)(Carter, Ellram 1998)(Barros, Dekker & Scholten 1998)(Marin, Pelegriñ 1998)(Moore, Gungor & Gupta 1998)(Richter, Dobos 1999)(Ritchie et al. 2000)(Klausner, Hendrickson 2000)(Fleischmann et al. 2001)(Majumder, Groenevelt 2001)(Moore, Gungor & Gupta 2001)(Jayaraman, Patterson & Rolland 2003)(Daugherty et al. 2003)(Haas, Murphy 2003)(Georgiadis, Vlachos 2004)(Sheu, Chou & Hu 2005)(Listes, Dekker 2005)(Mourao, Amado 2005)(Nagurney, Toyasaki 2005)(Srivastava, Srivastava 2006a)(min, Ko & Ko 2006)(Mostard, Teunter 2006)(Kara, Rugrungruang & Kaebnick 2007)(Srivastava 2008)(Hanafi, Kara & Kaebnick 2008)(Li, Olorunniwo 2008)(Chen, Chang 2012a)(Lin 2012)(Lindskog 2012)(Ghadge et al. 2013; 29)(Ip, Chan & Lam 2011; 10)(Ahn 2009)(Aitken, Harrison 2013; 17)(Chen, Chang 2012b)(Ordoobadi 2009; 7)(Ding, Glazebrook 2013)(Toktay, L. Beril, Wei, Donna 2011)(Asif 2011; 1)(Benedito, Corominas 2011; 1)(Huscroft 2010; 1)(Kapetanopoulou, Tagaras 2009)(Panagiotidou, Nenes & Zikopoulos 2013)(Wook Kim 2012; 23)(Sarmiento, Rabelo & Jones 2011; 1)(Kumar 2012)(Mihi-Ramírez, Arias-Aranda & García-Morales 2012; 1)(Jack, Powers & Skinner 2010; 20)(Madaan, Wadhwa 2010; 1)(Sbihi, Eglese 2007)(V et al. 2013; 1)(Vasilii, Dobrea 2012; 1)(Kumar, Dieveney & Dieveney 2009; 16)(Hernández 2011)(Shi et al. 2012)(Okonkwo, Nkamnebe 2013; 15)(Turrisi, Bruccoleri & Cannella 2013; 2)(Hosseinzadeh 2012; |

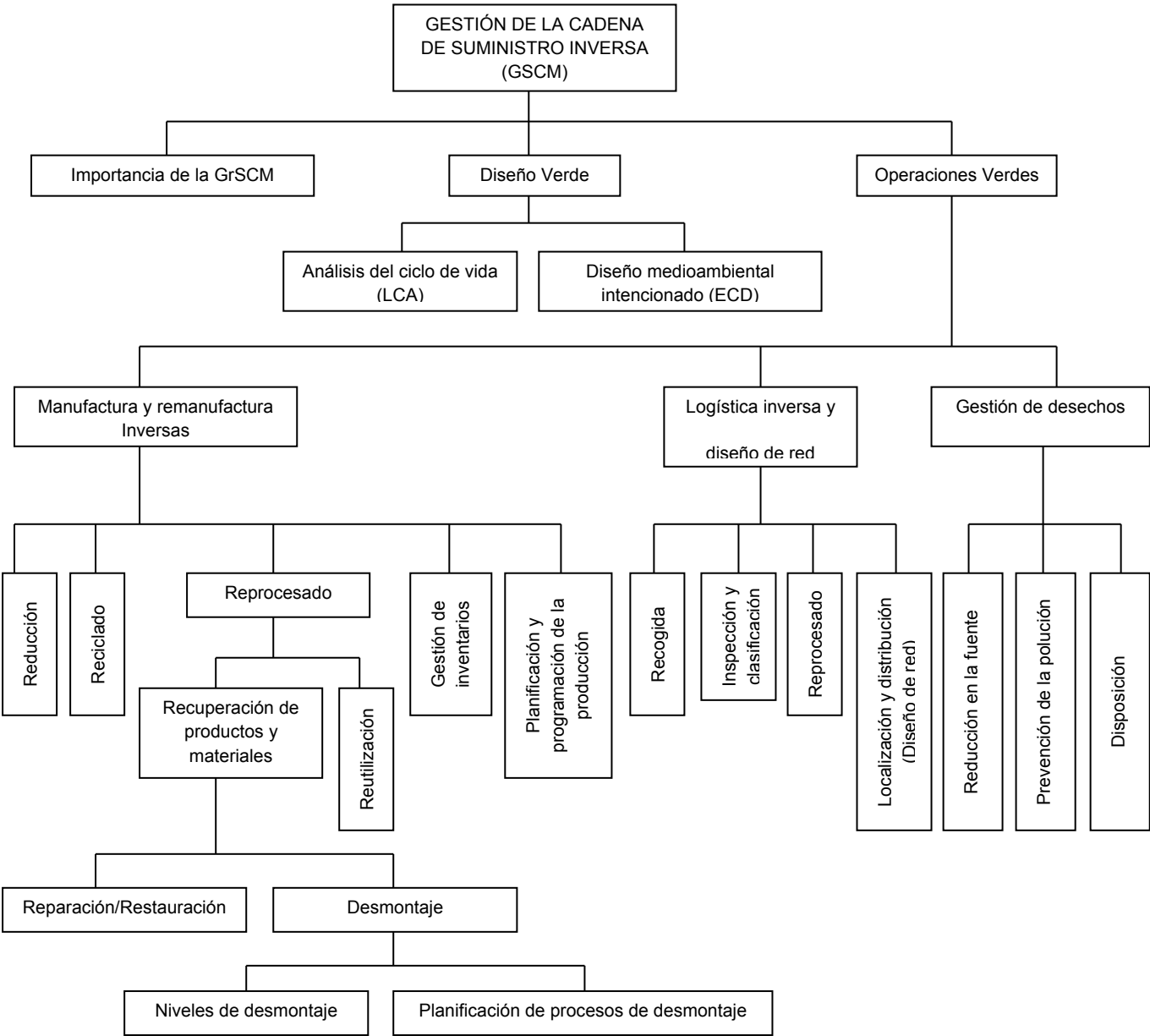
|                         |                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Operaciones verdes      |                                                                              | 1)(Alshamrani 2012; 1)(Gurnani, Sharma & Grewal 2010)(Sonya Hsu, Alexander & Zhu 2009; 24)(Paksoy, A–zceylan & Weber 2011; 1)(Vahdani, Razmi & Tavakkoli-Moghaddam 2012)(Erol et al. 2010; 26)(Huscroft 2010; 1)(Lee 2009; 1)(Abraham 2011; 10)(Qiaolun 2009; 1)(Hazen, Hall & Hanna 2012; 13)(Freires 2013; 1)(J. Hall et al. 2013; 4)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                         | Programación y planificación de la producción                                | (Guide, Srivastava & Spencer 1996)(Guide, Srivastava 1997)(Daniel, Guide 1997)(Guide, Srivastava 1997a)(Guide, Srivastava 1997b)(Guide, Kraus & Srivastava 1997)(van der Laan, Salomon 1997)(Guide, Srivastava 1997)(Guide, Srivastava 1997)(Jayaraman, Srivastava & Benton 1998)(Fleischmann et al. 2000)(Richter, Sombrutski 2000)(Ferrer 2001)(Ferrer, Whybark 2001)(Inderfurth, de Kok & Flapper 2001)(Richter, Weber 2001)(Savaskan, Bhattacharya & Van Wassenhove 2004)(Guide, Souza & van der Laan 2005)(Vlachos, Georgiadis & Iakovou 2007b)(Liu 2013)                                                                                                                                                                                                         |
|                         | Gestión de inventarios                                                       | (Kelle, Silver 1989)(Gupta 1993)(Ashayeri et al. 1996)(Richter 1996)(van der Laan, Dekker & Salomon 1996)(van der Laan et al. 1996)(Guide, Srivastava 1997){1449 Guide,V Daniel R.,Jr 1997}(van der Laan, Salomon 1997)(Guide, Srivastava 1998)(Jayaraman, Srivastava & Benton 1998)(Richter, Dobos 1999)(van der Laan, Salomon & Dekker 1999)(Klausner, Hendrickson 2000)(Teunter, van der Laan & Inderfurth 2000)(Inderfurth, de Kok & Flapper 2001)(Inderfurth, van der Laan 2001)(Kiesmuller, van der Laan 2001)(Minner 2001)(Moore, Gungor & Gupta 2001)(Fleischmann, Kuik & Dekker 2002)(Swenseth, Godfrey 2002)(Kiesmuller, Scherer 2003)(Xanthopoulos, Vlachos & Iakovou 2011)(Krapp, Nebel & Sahamie 2013; 30)                                                |
|                         | Reducción, reciclaje y reprocesado                                           | (Bloemhof-Ruwaard et al. 1996)(Guide, Srivastava 1997)(Spengler et al. 1997)(Min, Jayaraman & Srivastava 1998)(Moore, Gungor & Gupta 1998)(Jayaraman, Guide & Srivastava 1999)(Klausner, Hendrickson 2000)(Linton, Johnston 2000)(Fleischmann et al. 2001)(Chinander 2001)(Ferrer, Whybark 2001)(Inderfurth, van der Laan 2001)(Klassen 2001)(Moore, Gungor & Gupta 2001)(Teunter, Vlachos 2002)(Kiesmuller, Scherer 2003)(Hicks et al. 2004)(Georgiadis, Vlachos & Tagaras 2006)(Vlachos, Georgiadis & Iakovou 2007b)(Brodin, Anderson 2008)(Foster et al. 2014; 1)(Ovchinnikov 2011)(Nnorom, Osibanjo 2010; 1)(Souza 2008)(Zhang, Zhang & Liu 2012; 17)(Vasudevan, Kalamkar & Terkar 2012; 1)(Nakashima, Loomba 2013; 2)(Srivastava 2008; 16)(Wright et al. 2011; 1) |
| Diseño Verde            | Análisis del ciclo de vida (LCA) y Diseño Consciente del medioambiente (ECD) | (Kroon, Vrijens 1995)(Bloemhof-Ruwaard et al. 1996)(Miettinen, Hamalainen 1997)(Sarkis 1998)(Baumann, Boons & Bragd 2002)(Matos, Hall 2007)(Yang, Wei. Zeng Yongzhi, Wu Yue 2011)(John et al. 2013; 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Importancia de la GrSCM |                                                                              | (Rogers, Tibben-Lembke 1999)(Chinander 2001)(Klassen 2001)(Rao 2002)(Sarkis 2003)(Murphy, Poist 2003)(Zhu, Cote 2004)(Zhu, Sarkis 2004)(Zhu, Sarkis & Geng 2005)(Rao, Holt 2005)(Vachon, Klassen 2006)(Kainuma, Tawara 2006)(Prahinski, Kocabasoglu 2006)(Srivastava 2007)(Kocabasoglu, Prahinski & Klassen 2007)(Linton, Klassen & Jayaraman 2007)(Zhu, Sarkis & Lai 2008)(Seuring, Müller 2008)(Mann et al. 2010; 1)(Choi, Wacker 2011)(Laosirihongthong, Adebajo & Choon Tan 2013; 23)(Guide, Van Wassenhove 2009; 1)(Haji 2012)(Kapetanopoulou, Tagaras 2011; 8)(Gupta,V. , Abidi, Naseem 2013)(Gupta, Abidi & Bandyopadhyay 2013)(Sophie Bernard 2010)(Norhana Muslan, Abu Bakar Abd Hamid, Helen Tan and                                                         |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Halimah Idris 2013)(Antai, Mutshinda 2010; 22)(De Giovanni 2014)(Sharma 2013; 1)(Bernon, Rossi & Cullen 2011; 14)(Skapa, KlapalovĀj 2010; 26)(R. Huscroft et al. 2013; 1)(Tonape, Owk 2013; 1)(Bell, Mollenkopf & Stolze 2013; 7)(Bajdor, Grabara 2011)(Hamzaoui Essoussi, Linton 2010; 3) |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Los temas de estudio se han clasificado siguiendo el esquema propuesto por Samir K. Srivastava (Srivastava 2007) y según el cual la literatura existente sobre Gestión de la cadena de Suministro Inversa se puede agrupar en tres categorías principales: Importancia de la Gestión de la Cadena de Suministro Inversa, Diseño verde y Operaciones verdes. En el esquema que se presenta en la ilustración 4-1 se representan los principales temas que componen el área de estudio.

Ilustración 4-1 Clasificación de los temas de la GSCM.

Adaptado a partir de ( Srivastava, Samir K. 2007)





Simplificando un poco el esquema anterior, la clasificación que se ha seguido en este trabajo ha sido las que se muestra en la tabla 4-2.

Tabla 4-2 Clasificación de los temas de estudio de la GSCM

| Importancia de la GrSCM | Diseño Verde                                                                   | Operaciones Verdes                 |                        |                                               |                                   |                     |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
|                         | Análisis del ciclo de vida (LCA)<br>Diseño consciente del medio ambiente (ECD) | Reducción, reciclaje y reprocesado | Gestión de inventarios | Programación y planificación de la producción | Logística inversa y diseño de red | Gestión de desechos |

#### 4.1.1. Importancia de la GSCM

En el año 1999 Rogers, D. y Tibben-Lembke, R.S. (Rogers, Tibben-Lembke 1999) realizan una investigación para intentar definir el estado del arte en logística inversa y determinar las tendencias y mejores prácticas. El equipo de investigación entrevistó a 150 directivos con responsabilidades en el área de logística inversa. En este trabajo detectaron que en los últimos años muchas compañías habían estado practicado la logística inversa principalmente debido a regulaciones estatales o presiones de agencias medioambientales, no por ganancias económicas. La respuesta en este sentido ha venido siendo reactiva.

Se hace hincapié también en que Europa fue quien dio los primeros en el desarrollo legislativo de temas medioambientales indicando que en Europa la legislación ya establecía las condiciones sobre lo que se podía y no se podía hacer con un producto al final de su vida útil. Por ejemplo, diversos países Europeos han desarrollado legislación en la que se requiere a los productores para que recojan sus productos al final de su vida útil. En 1991 el parlamento alemán (Bundesrat) desarrolló la ordenanza de embalajes. Esta normativa obliga a las industrias a que organicen la reclamación de los desechos de embalajes reutilizables mientras las autoridades locales continúan ocupándose de la recogida y disposición de los desechos restantes. Bajo esta legislación las compañías deben recoger los embalajes ellas mismas o contratar a otra empresa que desarrolle dicha recogida. Se adelantaba también que es sólo cuestión de tiempo que medidas similares aparezcan en Estados Unidos.

Chinander, Karen R. (2001) realiza un enfoque conjunto sobre la contabilidad y la toma de conciencia del desarrollo medioambiental en las operaciones.

Rao,Purba (2002) presenta uno de los primeros trabajos para mostrar la aceptación que está teniendo la GSCM en el Sureste Asiático.

Sarkis (2003) identifica y estructura los principales elementos estratégicos y operacionales en un esquema que puede ayudar a los directivos en la evaluación de las alternativas de la Gestión de la cadena de suministro inversa. Estas alternativas incluyen factores como con quien asociarse, qué tipo de tecnología adoptar, o qué tipo de prácticas organizacionales adoptar. La estructura que se presenta en este trabajo es una red jerárquica que puede ser usada para evaluar estas alternativas. La técnica adoptada para analizar las decisiones está basada en el Proceso Analítico de redes (ANP) o de sistemas con realimentación introducido por Saaty.

McKinnon (1995 en (Murphy, Poist 2003)) indicó que el grado actual de investigación medioambiental en logística es “pequeño pero está expandiéndose”, y la revisión bibliográfica de Murphy,Paul R.; Poist,Richard F. (Murphy, Poist 2003) indica que la investigación en este campo era virtualmente inexistente antes de 1990.

Zhu (2004) realiza un estudio sobre la implantación de las prácticas de la GSCM en un importante grupo industrial chino del sector de la caña de azúcar.

Posteriormente investiga las relaciones que aparecen entre las prácticas operativas y el desarrollo en un grupo de empresas chinas que ha comenzado la implantación de la GSCM (Zhu, Sarkis 2004). Al año siguiente amplía sus investigaciones en esta línea junto a Sarkis (Zhu, Sarkis & Geng 2005).

Rao,Purba y Holt,Diane (2005) presentan la primera evaluación empírica que relaciona las prácticas de la gestión de la cadena de suministro y la competitividad con el desarrollo económico en de un grupo de empresas del Sureste Asiático.

La investigación en gestión de la cadena de suministro se fundamenta cada vez más en una visión de red (hacia arriba y hacia abajo), en construir ventaja colaborativa más que ventaja competitiva. (Chen y Paulraj, 2004 en (Vachon, Klassen 2006))

Kainuma,Yasutaka y Tawara,Nobuhiko (2006) presentan un enfoque combinado de GSCM y Lean.

Prahinski,Carol y Kocabasoglu,Canan (2006) realizan una revisión bibliográfica en la que identifican distintas oportunidades para la realización de estudios empíricos en la GSCM. Otros trabajos (Kocabasoglu, Prahinski & Klassen 2007;Linton, Klassen &

Jayaraman 2007) también han continuado con esta labor pero dando relevancia al papel que juega la incertidumbre en la GSCM.

Srivastava, Samir K (2007) presenta una de las revisiones bibliográficas más completas sobre la GSCM identificando los temas de estudio del área y una primera aproximación de las técnicas de análisis empleadas según el tema de investigación. En esta línea es interesante la aportación de la revisión bibliográfica de Seuring, Stefan y Müller, Martin (Seuring, Müller 2008) que pretende establecer un marco conceptual del área para fomentar el desarrollo de teoría.

Vishal Gupta y otros (2013) Proponen un marco tridimensional para GSCM en el que la primera dimensión representado en el eje-X están los actores de la "cadena de suministro", la segunda dimensión en el eje Y se refiere a la "Administración de la empresa", mientras que la tercera dimensión en el eje Z muestra la "Sostenibilidad".

Entre las últimas contribuciones se encuentran diversas contribuciones encaminadas a verificar el grado de implantación de la GSCM en diversas regiones.

Por una parte se desarrolla de un sistema de medida para verificar el grado de implantación de la GSCM así como sus relaciones con el desarrollo económico (Zhu, Sarkis & Lai 2008).

Tritos Laosirihongthong y otros (Laosirihongthong, Adebajo & Choon Tan 2013; 23) realizaron un estudio sobre 190 empresas Tailandesas que disponían de la certificación ISO 14001 con el objeto de examinar las prácticas pro-activas y re-activas en la implementación de la GSCM.

Paraskevi Kapetanopoulou y George Tagaras (2011; 8) realizan un estudio para verificar el grado de implantación de las actividades de recuperación de productos en las empresas griegas encontrando que estas prácticas todavía no están muy desarrolladas.

Vishal Gupta y Abidi (2013) realizaron un estudio empírico sobre la aplicación de la GSCM en las tres grandes empresas tecnológicas de la India (HCL Infosystems Limited, Tata Consultancy Services y Dell Computer India Private Limited) encontrando que las iniciativas adoptadas en GSCM ya están proporcionando sus frutos.

#### **4.1.2. Diseño verde: análisis del ciclo de vida (LCA) y diseño consciente del medioambiente (ECD)**

Uno de los primeros trabajos que integra el Diseño Consciente del Medioambiente (ECD) es el que presentan Kroon,Leo y Vrijens,Gaby (Kroon, Vrijens 1995) para estudiar el caso de los containers retornables.

El sector Europeo de la pulpa y el papel puede reducir su impacto medioambiental de diferentes maneras como mediante el reciclado, recuperación energética, y blanqueando la pulpa. Se han integrado distintos temas de la GSCM (Análisis del ciclo de vida (LCA) y Diseño Consciente del medioambiente (ECD), Manufactura y remanufactura inversa y Gestión de desechos) en un único modelo para analizar distintos escenarios con diferentes estrategias de reciclado (Bloemhof-Ruwaard et al. 1996).

El análisis del ciclo de vida (LCA) es un método de evaluación multi-atributo que proporciona apoyo e información medioambiental valiosa para la empresa. El LCA describe los efectos asociados a un producto, proceso o actividad a lo largo de su ciclo de vida completo calculando los requerimientos de materiales y energía necesarios en su procesado así como también emisiones al aire, agua y residuos sólidos generados informando sobre los impactos medioambientales de los mismos. Hasta ahora el LCA no se ha tenido mucho en consideración en la literatura sobre métodos de apoyo a la toma de decisiones (Miettinen, Hamalainen 1997).

Miettinen,Pauli y Hamalainen,Raimo P. (Miettinen, Hamalainen 1997) presentan qué enfoques y herramientas de decisión pueden verse beneficiados mediante la planificación de un estudio LCA y en la interpretación y comprensión de los resultados. Se realiza una aplicación sobre los sistemas de empaquetado en Finlandia.

El LCA consta de las siguientes etapas:

- 1) Definición de objetivos y alcance del estudio. Es la parte de planificación del LCA
- 2) Análisis de inventarios, en donde se hace un balance del material y energía del sistema.
- 3) Estudio de impactos, donde se clasifican, caracterizan y evalúan los impactos medioambientales del sistema.

- 4) Fase de mejora, donde se buscan oportunidades para la reducción del impacto medioambiental.

El LCA se ha venido aplicando tanto al sector público como al sector privado. Las aplicaciones del LCA al sector público han contribuido al desarrollo de la legislación y la regulación medioambiental, desarrollo de criterios para tasas medioambientales, estándares, o programas de etiquetado ecológico además de para suministrar información al consumidor. Los estudios públicos suelen ser transparentes ya que las asunciones realizadas, datos, métodos y preferencias mostradas se presentan con claridad lo que en principio hace que el estudio sea reproducible.

En el sector privado las empresas pueden emplear los resultados del LCA como soporte para el desarrollo del producto o el marketing, para mostrar credibilidad sobre las políticas de la empresa en materia medioambiental, o como guía para indicar a los suministradores cómo ser más respetuosos con el medioambiente.

Varios sistemas y estándares de gestión medioambiental como la ISO 14000, la ecogestión de la Comunidad Europea y los modelos de auditoría EMAS solicitan que las empresas tengan una perspectiva medioambiental mucho más amplia que el simple control de las emisiones y las soluciones aisladas al final de la vida del producto.

Sarkis (1998) detecta que con los programas de Ecodiseño, Gestión de la calidad total medioambiental, análisis del ciclo de vida, gestión de la cadena de suministro inversa, y los estándares de ISO 14000 ganando importancia las decisiones estratégicas y operativas para la gestión medioambiental y los negocios se están volviendo cada vez más complejas. Teniendo esto en cuenta integra estos elementos y sus atributos en una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que emplea sistemas con realimentación o técnicas de Proceso Analítico de redes (ANP) desarrolladas por Saaty.

La filosofía del Ecodiseño engloba el diseño de “x” principios asociados con ingeniería concurrente. Su objetivo es considerar el ciclo de vida completo del producto cuando se diseñan aspectos medioambientales en un producto o proceso. El Ecodiseño incorpora los tipos de materiales que se usan en la fabricación del producto, las capacidades de reciclado y reutilización de los materiales, el impacto a largo plazo de los materiales en el medioambiente, la cantidad de energía y la eficiencia requerida para la fabricación o ensamblaje del producto, la capacidad de

desensamblado para el reprocesado, consideraciones del diseño del producto para incluir características de reprocesado y consideraciones sobre la durabilidad del producto y sus características de disposición.

El análisis del ciclo de vida del diseño de un producto evalúa los tipos y cantidades de inputs de productos, así como la energía, el flujo de materias primas, el agua y los outputs de productos, las emisiones a la atmósfera, desechos sólidos, vertidos y productos finales.

Los cuatro componentes del análisis del ciclo de vida son:

- Análisis de inventarios: es la identificación y cuantificación de energía y recursos usados y los efectos medioambientales para los recursos naturales a lo largo de la vida del producto.
- Análisis de impactos: es la valoración de las consecuencias y riesgos que los residuos tienen sobre el medioambiente
- Coste del ciclo de vida: es una metodología en la que se identifican todos los costes asociados al producto desde sus materias primas hasta su disposición.
- Análisis de mejoras: a menudo llamado auditoría medioambiental, es la evaluación e implementación de oportunidades de mejora de los efectos medioambientales.

Aunque con pequeños matices puede verse que los enfoques de Sarkis y Miettinen y Hamalainen son coincidentes en cuanto a la definición del LCA y sus etapas por lo que en este aspecto hay unanimidad en cuanto al LCA y su implantación.

Baumann,H. , Boons,F.y Bragd,A. (2002) presentan una revisión bibliográfica que arranca con la impresión de que se ha hablado mucho sobre el desarrollo ambiental del producto pero en la práctica ha habido relativamente pocos cambios.

Para algunos autores “ser verde proporciona beneficios”; las empresas pueden incrementar sus beneficios si trabajan con objetivos medioambientales, cumplen con la regulación medioambiental y hacen del medioambiente el principio central de la organización de sus negocios (Reinhardt 1998 en (Baumann, Boons & Bragd 2002)).

Richards define el rol de los ingenieros y los administradores (Richards 1994 en (Baumann, Boons & Bragd 2002)). Las tareas de los ingenieros incluyen la selección de los materiales adecuados, el diseño de los productos para el reciclado, reutilización, reprocesado y disposición mientras que el desafío de los administradores es asegurar

que los diferentes participantes como los proveedores de materias primas, sistemas de distribución y recicladores, empleados y consumidores comprendan y acepten los objetivos medioambientales,

El análisis del ciclo de vida (LCA) es una herramienta inicialmente desarrollada para integrar los aspectos medioambientales en la cadena de suministro en la toma de decisiones de las organizaciones y recientemente se ha expandido para incluir aspectos sobre la sostenibilidad. Esta transición hacia los aspectos más complejos y ambiguos del desarrollo sostenible ha creado desafíos adicionales en términos de aplicabilidad y requerimientos de recursos.

Una mejor comprensión de la complejidad y ambigüedad puede ayudar a los investigadores a determinar la idoneidad del análisis del ciclo de vida en las cadenas de suministro.

Para reforzar el conocimiento y la utilidad de la técnica se han presentado dos casos de estudio, uno aplicado a la biotecnología agrícola y otro a las compañías de petróleo y gas (Matos, Hall 2007).

Por otra parte Joshin John y otros (2013; 1) realizan un estudio acerca de la recuperación de valor al final de la vida útil de un buque y la reintroducción a la cadena del valor a través del canal de la cadena de suministro inversa, lo que reduce el impacto medioambiental y también beneficiando a la sociedad y la ecología.

#### **4.1.3. Operaciones verdes**

En el siguiente apartado se analizarán, las operaciones verdes que recordamos que para este estudio son las siguientes:

- A) Reducción, reciclaje y reprocesado
- B) Gestión de inventarios
- C) Programación y planificación de la producción
- D) Logística inversa y diseño de red
- E) Gestión de desechos

### **A) Reducción, reciclaje y reprocesado**

Uno de los primeros trabajos sobre manufactura y remanufactura inversa es un caso de aplicación a la empresa Olivetti sobre la gestión de las partes reparables de sus ordenadores personales (Ashayeri et al. 1996).

Fiat en Italia ha estado probando con el reciclaje del acero de sus automóviles (Birch 1993 en (Guide, Srivastava & Spencer 1996)).

Un estudio y clasificación de los problemas tipo de localización y rutas combinados (Min, Jayaraman & Srivastava 1998) revela que la mayor parte de los trabajos considerados (73%) están orientados hacia modelos deterministas. En la práctica el número, demanda y localización de los consumidores así como los tiempos de transporte de los vehículos pueden no conocerse a priori por lo que deben ser tratados como variables aleatorias. Se debe trabajar más en este tipo de modelos para desarrollar patrones de demanda y variaciones en los tiempos de transporte.

Un estudio del consejo de gestión logística (CLM Council of Logistics Management) indica que hay tres temas clave que afectan a la logística inversa:

1. La estructura de red
2. La planificación del flujo de materiales
3. La clasificación y rutas de los materiales

(Harrington L (1994) en (Jayaraman, Guide & Srivastava 1999))

Se comienzan a desarrollar modelos logísticos de ciclo cerrado que incluyen reprocesado ((Jayaraman, Guide & Srivastava 1999),(Linton, Johnston 2000)).

El reprocesado requiere de un continuo flujo de productos usados retornados. Comprando los productos utilizados las empresas pueden controlar el flujo de materiales retornados. Klausner, Markus y Hendrickson, Chris T. (Klausner, Hendrickson 2000) desarrollan un modelo que permite determinar la cantidad a pagar en la compra de productos usados y el coste óptimo unitario de la logística inversa. El modelo se aplica a la recuperación de herramientas eléctricas en Alemania. La recompra no es la única opción, la antigua Unión Soviética utilizaba extensivamente un principio de recompra modificado para obtener altos ratios de retorno. Los consumidores recibían créditos según la cantidad de materiales que entregaban en los centros de reciclaje. Los ciudadanos soviéticos recibían un libro de crédito por cada



110 lb de papel reciclado y una prenda de ropa de crédito por cada 220 lb de textiles reciclados (Pohlen, Farris 1992).

Se han realizado investigaciones empíricas para evaluar la influencia de las visiones de los administradores de la planta productiva de cara a la orientación medioambiental de la empresa (Klassen 2001).

Hicks,C., Heidrich,O.,McGovern,T. y Donnelly,T. (2004) realizan un estudio para explorar las distintas definiciones del término “desperdicio”, describir un modelo funcional que represente a la cadena de suministro en términos de procesos, sus interconexiones, flujos de materiales, corrientes de desechos y costes acumulados y mostrar una aplicación del modelo a una empresa productora de productos plásticos.

Uno de los trabajos más relevantes es el que estudia como el ciclo de vida y los patrones de retorno de varios productos afectan a las políticas óptimas de expansión y contracción de las capacidades de recogida y reprocesado (Georgiadis, Vlachos & Tagaras 2006). Los autores del estudio desarrollan un modelo de dinámica de sistemas para evaluar dicha influencia y realizan mejoras posteriores (Vlachos, Georgiadis & Iakovou 2007b) indicando que un parámetro clave de la cadena de suministro directa es el número de escalones que hay entre el proveedor de materias primas y el cliente final y que además de contar con la misma dificultad la cadena de suministro inversa es más compleja ya que los flujos de retorno pueden incluir productos, partes desensambladas y/o materiales y pueden incorporarse a la cadena directa en varios puntos de retorno.

Recientemente se han realizado estudios enfocados en el valor económico, como medida en términos de precio de un producto, el cual es producido, distribuido y reciclado. Se ha discutido el valor en el reciclado en términos de los costes que ocurren a lo largo de la creación de valor y consumo (Brodin, Anderson 2008).

Innocent Chidi y Oladele Osibanjo (2010;1) realizan un estudio sobre las operaciones de reprocesado en los teléfonos móviles. En su trabajo señalan las Opciones disponibles para la recuperación de material al final de la vida de los equipos electrónicos.

Tabla 4-3 Opciones disponibles para la recuperación al final de la vida de los equipos electrónicos

| Opciones                | Objetivo y operaciones                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Reparación              | Producto original utilizado después de la reparación o sustitución de piezas rotas o defectuosas.                                                                                                                                                          |
| Reformado               | La calidad del producto original restaurada después desmontaje a un cierto nivel y la reparación / sustitución de la parte defectuosa o rota componentes / piezas.                                                                                         |
| Reprocesado             | El producto 'Nuevo' se fabrica a partir del viejo (recuperado del desmontaje de viejos dispositivos) y nuevos componentes. Las mejoras tecnológicas (software) también pueden llevarse a cabo.                                                             |
| Canibalización          | Piezas y módulos reutilizables son recuperados de productos usados, para ser utilizados en cualquiera de las tres operaciones mencionadas arriba.                                                                                                          |
| Reciclado               | Materiales recuperados de productos usados y partes en procesos de separación (sin la conservación de cualquier estructura del producto).                                                                                                                  |
| Recuperación energética | Componentes de alto valor calorífico (por ejemplo, plásticos) podrían ser incinerados modernas plantas de conversión de residuos en energía para la generación de electricidad generación o en las fundiciones y hornos de cemento como fuente de energía. |

Fuente (Nnorom, Osibanjo 2010; 1)

Rong Zhang y otros (Zhang, Zhang & Liu 2012; 17) proponen un sistema de índice de evaluación para seleccionar el tratamiento a aplicar en la logística inversa de productos electrónicos.

Foster y otros (2014;1) realizaron un análisis coste-beneficio sobre las diferentes opciones de reprocesar, reutilizar o reciclar baterías de litio de los automóviles obteniendo que las tres opciones son factibles bajo determinadas condiciones del mercado. Si bien en el reprocesado se obtuvieron ahorros de un 40% con respecto a la fabricación de nuevas baterías.

## B) Gestión de inventarios

El trabajo más antiguo que recoge esta revisión bibliográfica es el que desarrollaron Kelle, Peter y Silver, Edward A. (1989) para la gestión de los containers reutilizables.

Los modelos teóricos de inventarios multi-escalón aparecieron cuando el modelo METRIC fue desarrollado por la Rand Corporation para los sistemas de inventarios multi-escalón de maquinas reparables de la fuerza aérea de los Estados Unidos. Trabajos posteriores han implementado modificaciones a este modelo para la gestión de inventarios de ítems reparables (Gupta 1993).

Se ha trabajado también en modificar el modelo de la cantidad económica de pedido para productos reparables (Richter 1996), (Richter, Dobos 1999).

Para la evaluación de las diferentes alternativas de estrategias de control de inventarios para el reprocesado y la disposición se han realizado estudios estocásticos (van der Laan, Dekker & Salomon 1996) que posteriormente se han mejorado ((van der Laan et al. 1996), (van der Laan, Salomon 1997),(van der Laan, Salomon & Dekker 1999)),(Inderfurth, van der Laan 2001).

Hay distintas posibilidades de estructuras de trabajo para las instalaciones de reprocesado el rango abarca desde tipos de trabajo altamente repetitivas (teléfonos celulares) hasta estructuras altamente complejas (reprocesado de barcos de la marina de los Estados Unidos). Hay tres subsistemas distintivos en los sistemas de reprocesado: desensamblado, reprocesado y re ensamblado. El efecto de los buffers de los inventarios de productos recuperables ha sido estudiado para cada uno de dichos subsistemas (Guide, Srivastava 1998).

En el trabajo de Teunter,Ruud H., van der Laan,Erwin y Inderfurth,Karl (2000) se comparan 5 métodos diferentes de cálculo del coste de oportunidad de ítems inservibles retornados para el procesado y reprocesado. Se han realizado estudios posteriores que relacionan la gestión de inventarios con las opciones de disposición de diversos ítems que pueden ser reprocesados (Teunter, Vlachos 2002).

El estudio de los stocks de seguridad ha sido estudiado por Minner,Stefan (2001), el objetivo de su trabajo es el de combinar el problema de stock de seguridad en la planificación general de la cadena de suministro con la integración del retorno de productos para la reutilización. El desafío de la investigación radica en decidir dónde situar y en qué cantidad los stocks de seguridad en una cadena de suministro compleja como es la inversa.

Algunos trabajos han evaluado la implementación de los algoritmos de Wagner/Whitin para la planificación del reprocesado de productos (Richter, Sombartzki 2000; Richter, Weber 2001).

La implementación de métodos estocásticos para la gestión de inventarios también ha sido objeto de estudio debido a la aleatoriedad inherente a las cadenas de suministro inversa (Kiesmuller, Gudrun P. 2001; Inderfurth, de Kok & Flapper 2001; Fleischmann, Kuik & Dekker 2002; Kiesmuller, Scherer 2003).

Para las decisiones de reposición de inventarios también se han desarrollado modelos que incorporan los costes de transporte (Swenseth, Godfrey 2002).

Anastasios Xanthopoulos y otros (Xanthopoulos, Vlachos & Iakovou 2011), propusieron un modelo de periodo simple estocástico para inventarios para el estudio del riesgo asociado a diferentes políticas en una red de logística inversa doble.

### **C) Programación y planificación de la producción**

Se han desarrollado modelos de planificación (Guide, Srivastava & Spencer 1996) que se basan en componentes de la división de ingeniería del depósito de aviación naval (NAD). El depósito contiene varios elementos para el reprocesado como aviones, turbinas a reacción, componentes de ingeniería y componentes aeronáuticos.

Ha habido trabajos donde se estudia un número de reglas de prioridad en combinación con “tambor-colchón-cuerda” (DBR de la tecnología de producción optimizada (OPT)) bajo una variedad de niveles de utilización vía simulación de modelos de una planta de reprocesado. Los hallazgos indican que las reglas de prioridad simples como “el primero que llega es el primero que sale” o “trabajo con fecha de vencimiento antes” trabajan bien con tambor-colchón-cuerda, pero otros factores deben ser considerados cuando se utiliza tambor-colchón-cuerda en la programación de la remanufactura con cambios en el ratio de demanda (Daniel, Guide 1997). Otros trabajos posteriores han evaluado también cómo se comportan diversas reglas de prioridad estáticas en este entorno (Guide, Souza & van der Laan 2005).

Se ha evaluado la efectividad de los stocks de seguridad utilizados en los sistemas de planificación de materiales para actuar de colchón frente a la incertidumbre

inherente a los sistemas de reprocesado. Más concretamente se examinó el desarrollo de stocks de seguridad con un sistema MRP modificado para su uso en entornos de reprocesado. La naturaleza dinámica de los entornos de reprocesado en términos de cantidades y tiempos de procesado parecen sugerir que el MRP puede tener una efectividad limitada en la planificación de materiales para ser reprocesados (Guide, Srivastava 1997).

Hay dos factores que complican la planificación y el control en las operaciones de reprocesado: (1) los ratios de recuperación probabilísticos de partes y materiales que implican un alto grado de incertidumbre en los MRP y (2) el desconocimiento del estado y las condiciones en que se encuentran las partes y materiales hasta el momento en que se inspeccionan los que las rutas y tiempos sean estocásticos. Un sistema MRP modificado se ha empleado también para evaluar su comportamiento en este entorno (Guide, Srivastava 1997a);Guide, Kraus & Srivastava 1997;Guide, Srivastava 1997a);Guide, Srivastava 1997a).

En la revisión bibliográfica de Guide y Srivastava se indica que no hay teorías académicas o guías para la planificación y control de las operaciones de reprocesado. En este trabajo se hace una revisión bibliográfica sobre el inventario reprocesable examinando varios modelos propuestos y clasificándolos según la solución metodológica aplicada (Guide, Srivastava 1997b).

Se han aplicado modelos de optimización conjunta según la variedad de productos y los pedidos (Jayaraman, Srivastava & Benton 1998).

Estrictamente hablando hay dos enfoques para la recuperación de un producto o componente: la recuperación de materiales y la recuperación de valor. Los trabajos de Ferrer y Geraldo (Ferrer 2001;Ferrer, Whybark 2001) pretenden mostrar cómo el diseño puede afectar al potencial de recuperación y como adaptar los procesos de reprocesado a familias individuales de productos usados sujetos a patrones de diseño y deterioro. En el trabajo se desarrolla un proceso generalizado de decisiones de recuperación de 9 pasos que aplican a una bicicleta.

Algunos trabajos (Savaskan, Bhattacharya & Van Wassenhove 2004) proponen modelos para resolver el problema de elegir la estructura apropiada de canal inverso para la recogida de productos desde los consumidores. Se plantean tres alternativas:

- 1) Recogida directa a los consumidores

- 2) Recoger a través de los minoristas
- 3) Subcontratar la recogida a empresas externas.

Jian Liu y Haiyan Wang (Liu 2013) examinaron las estrategias óptimas de fijación de precios y pedidos de dos cadenas de suministro inverso que compiten según un juego de Bertrand-Nash y en un juego de Stackelberg para investigar en qué casos los productores pueden obtener mayores beneficios según las políticas de retornos de los productos por parte de los clientes.

#### **D) Logística inversa y diseño de red**

Uno de los primeros trabajos empíricos sobre logística inversa fue el desarrollado por Pohlen, Terrance L. y Farris, M. Theodore, II (Pohlen, Farris 1992) aplicado al reciclado del plástico. Estudios empíricos posteriores han revelado los beneficios de la logística inversa aplicada a sectores como el farmacéutico (Ritchie et al. 2000) o el de la automoción (Daugherty et al. 2003; Li, Olorunniwo 2008).

Crainic, Teodor Gabriel, Gendreau, Michel y Dejax, Pierre (Crainic, Gendreau & Dejax 1993) proponen modelos para la localización de containers vacíos en un sistema de distribución y transporte que cuenta con la complejidad específica de este tipo de problemas, particularmente asociada al espacio, y la dependencia del tiempo, la incertidumbre del suministro y los datos de la demanda.

Algunos trabajos incorporan modelos para la localización de instalaciones de reciclado y reprocesado y la elección entre diversos niveles de equipamiento (Jayaraman, Srivastava 1995), (Marin, Pelegrin 1998). Otros modelos son más globales y estudian el problema del diseño simultáneo de una red de distribución con plantas y unidades de disposición de residuos y la coordinación de los flujos de productos y los flujos de residuos en la red tratando generalmente de proporcionar soluciones de optimización (Bloemhof-Ruwaard, Salomon & Van Wassenhove 1996; Hirsch, Kuhlmann & Schumacher 1998; Fleischmann et al. 2001; Jayaraman, Patterson & Rolland 2003; Haas, Murphy 2003; Sheu, Chou & Hu 2005; Nagurney, Toyasaki 2005; Min, Ko & Ko 2006; Mostard, Teunter 2006; Srivastava 2008).

La revisión bibliográfica que plantea Fleischmann (1997) se clasifican los modelos de logística inversa en tres áreas principales: planificación de la distribución, control de

inventarios y planificación de la producción. Otras revisiones bibliográficas han abierto nuevas vías para la investigación de la logística inversa (Carter, Ellram 1998).

El efecto de los factores ambientales como la regulación estatal ha sido incorporado también en algunos modelos de decisión (Spengler et al. 1997; Georgiadis, Vlachos 2004; Sheu, Chou & Hu 2005).

En los Países Bajos el reciclado de los productos de construcción y en especial la arena ha creado importantes problemas logísticos. La nueva legislación asegura la reducción del nivel de disposición e incentiva el reciclado. Ambas medidas causan un incremento en la oferta de arena (un subproducto de los desechos reciclados de la construcción) y crean la necesidad de establecer una red de arena eficiente. El problema cae en el campo de la logística inversa al tratar con productos retornados (arena tamizada). Se han propuesto modelos de localización de dos niveles para el problema de la arena y se considera su optimización aplicando métodos heurísticos (Barros, Dekker & Scholten 1998). Posteriormente se ha ampliado esta investigación por diversos autores (Listes, Dekker 2005).

La planificación del proceso de desensamblado es crítica en la minimización de la cantidad de recursos (tiempo y dinero) invertidos en el desensamblado en la maximización del nivel de automatización del proceso de desensamblado y en la calidad de las partes o materiales recuperados. En este sentido se han presentado enfoques basados en redes de Petri para generar automáticamente planes de procesos de desensamblado para el reprocesado o reciclaje de productos. Se define un algoritmo que parte de una matriz precedente basada en la geometría captada a partir de dibujos en CAD del producto (Moore, Gungor & Gupta 1998; Moore, Gungor & Gupta 2001).

Se han realizado estudios para la caracterización de redes logísticas que estudian el diseño físico de las redes logísticas para las actividades de recuperación de productos. El objetivo es identificar las características de las redes de recogida de productos y compararlas con otras estructuras logísticas como las redes tradicionales productor-distribuidor y las redes de disposición de desechos (Fleischmann et al. 2000).

Se ha escrito poco sobre consideraciones estratégicas que impliquen a la competencia en la logística inversa con la excepción del trabajo de Majumder, Pranab y Groenevelt, Harry (2001).

El estudio de rutas también ha dado sus frutos y ha propiciado la aparición de aplicaciones prácticas como el desarrollo de métodos para la optimización de los recorridos de los vehículos de recogida de basuras en Lisboa (Mourao, Amado 2005) o para la recogida de productos al final de su vida útil en el área metropolitana de Sydney (Kara, Rugrungruang & Kaebernick 2007).o para el estudio de la recogida de teléfonos móviles en Australia, donde para determinar la mejor estrategia de recogida se introducen en el modelo datos demográficos y de ventas del producto (Hanafi, Kara & Kaebernick 2008).

La estimación de retornos es un prerequisite para establecer una red de logística inversa efectiva. Algunos trabajos han estudiado el problema (Srivastava, Srivastava 2006b) y han desarrollado herramientas ayudan a estimar los retornos para unas categorías seleccionadas de productos y después tomar decisiones simultáneas sobre sus disposición, localización y capacidad de las plantas y flujos de productos retornados para un horizonte temporal dado bajo varias restricciones estratégicas, operativas y asociadas al servicio al cliente.

Sharon M. Ordoobadi (Ordoobadi 2009; 7) presenta un modelo conceptual para facilitar la toma de decisiones en relación a la externalización de la las operaciones de logística inversa y remanufactura.

Paraskevi Kapetanopoulou y George Tagaras (2009) realizan un estudio sobre la logística inversa aplicada a las PYMES mediante la evaluación de las prácticas llevadas a cabo por algunas de ellas. En este estudio los autores acusan una gran carencia en la investigación sobre PYMES a pesar de jugar un papel central en la economía global.

Eric P. Jack y otros (2010; 20) realizaron un estudio basado en una encuesta a 295 minoristas para evaluar la influencia en los costes del consumidor y del minorista de la adopción de prácticas de logística inversa. Los resultados indican que los compromisos y obligaciones contractuales influyen positivamente en los ahorros en costes de la logística inversa.

Ernesto Benedito (2011;1) realiza un estudio referido a un sistema de logística inversa, donde los retornos son los dependientes estocásticamente en las ventas. El objetivo del trabajo es evaluar la influencia sobre las capacidades de producción óptimas cuando se asume que los retornos son estocásticamente independientes de



ventas. La conclusión a la que llega es que la suposición de que los retornos son estocásticamente independiente de las ventas es significativo en pocos casos.

Rezwan Asif (2011; 1) propone la aplicación de la tecnología de Identificación de Radio Frecuencia (RFID) para reducir la incertidumbre en la logística inversa.

Se trata de aplicar la llamada etiqueta RFID que se aplica a un producto, animal o persona con el propósito de identificarlo y seguirlo mediante el uso de ondas de radio. Las etiquetas RFID soportan un conjunto mayor de datos que los códigos de barras y pueden incorporar datos adicionales, como fabricante, tipo de producto, e incluso medir los factores ambientales como la temperatura.

Tabla 4-4 Ventajas del RFID sobre el código de barras.

| Característica                                | Código de barras                                                                                                | RFID                                                                      |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Automatización                                | No es totalmente automatizado. Requiere trabajo manual y más tiempo.                                            | Totalmente automatizado. Requiere menos mano de obra y tiempo.            |
| Lectura a granel                              | No posible                                                                                                      | Posible                                                                   |
| Línea de visión entre el lector y la etiqueta | Obligatorio                                                                                                     | No obligatorio                                                            |
| Visibilidad                                   | Obligatorio. Altas posibilidades de quedar ocultas por la grasa, la cinta, la luz solar y los objetos cercanos. | No obligatorio                                                            |
| Seguimiento                                   | No posible                                                                                                      | Posible en cada paso                                                      |
| Contenido y contenedores                      | Identifica solamente los contenedores no los contenidos dentro de los contenedores.                             | Posible para identificar el contenido dentro de los propios contenedores. |

Fuente Thoroe, Melski and Schumann (2009) en (Asif 2011; 1)

Antonio Mihi-Ramirez y otros (2012; 1) analizan la implantación de la Logística inversa en diversas empresas españolas encontrando que se están implantando gran variedad de actividades propias de la logística inversa según el sector y que además se está produciendo un incremento de la gestión de los materiales retornados y de la inversión en sistemas de logística inversa.

Xianliang Shi y otros (2012) realizan un estudio sobre la logística inversa aplicada a las baterías usadas prestando especial atención a la información integrada en dicho proceso logístico.

James Aitken y Alan Harrison (2013; 17) realizaron un estudio para examinar los cambios en las estructuras de gobierno propuestas por Gereffi (2005) que

evolucionaron a medidas que los sistemas de logística inversa se fueron desarrollando. Como caso de estudio se enfocaron en el sector de la reparación de coches accidentados.

### **E) Gestión de desechos**

En la gestión de desechos también se han desarrollado modelos matemáticos de localización para la planificación de los sistemas de gestión de los residuos sólidos urbanos y se aplican algunos métodos heurísticos para su resolución. Los resultados del modelo son el número y localización de plantas de disposición de desechos, especificando la tecnología adoptada, la cantidad de producto procesado y la base de servicio de cada planta. Se han realizado aplicaciones a la región italiana de Lombardia (Caruso, Colorni & Paruccini 1993) y también se ha desarrollado un sistema de apoyo a las decisiones para la gestión de residuos sólidos urbanos a escala regional en Ispra (Italia) (Haastrup et al. 1998).

Para los residuos peligrosos se han realizado también estudio para la localización de instalaciones de disposición o tratamiento y transporte. Algunos de los nodos de la red pueden ser los núcleos de población donde se generan los residuos peligrosos para ser transportados a las plantas de tratamiento. Se han considerado cuatro objetivos: (1) minimización del coste total operativo, (2) minimización del riesgo total percibido, (3) distribución equitativa del riesgo entre los centros de producción y (4) distribución equitativa de la infrautilización de las instalaciones de tratamiento (Giannikos 1998).

Rose, C.M. y Stevels & Ishii (2000) proponen una nueva metodología para prever adecuadamente cuales son las mejores estrategias a aplicar al final del ciclo de vida de diversos productos basada en las características tecnológicas del producto.

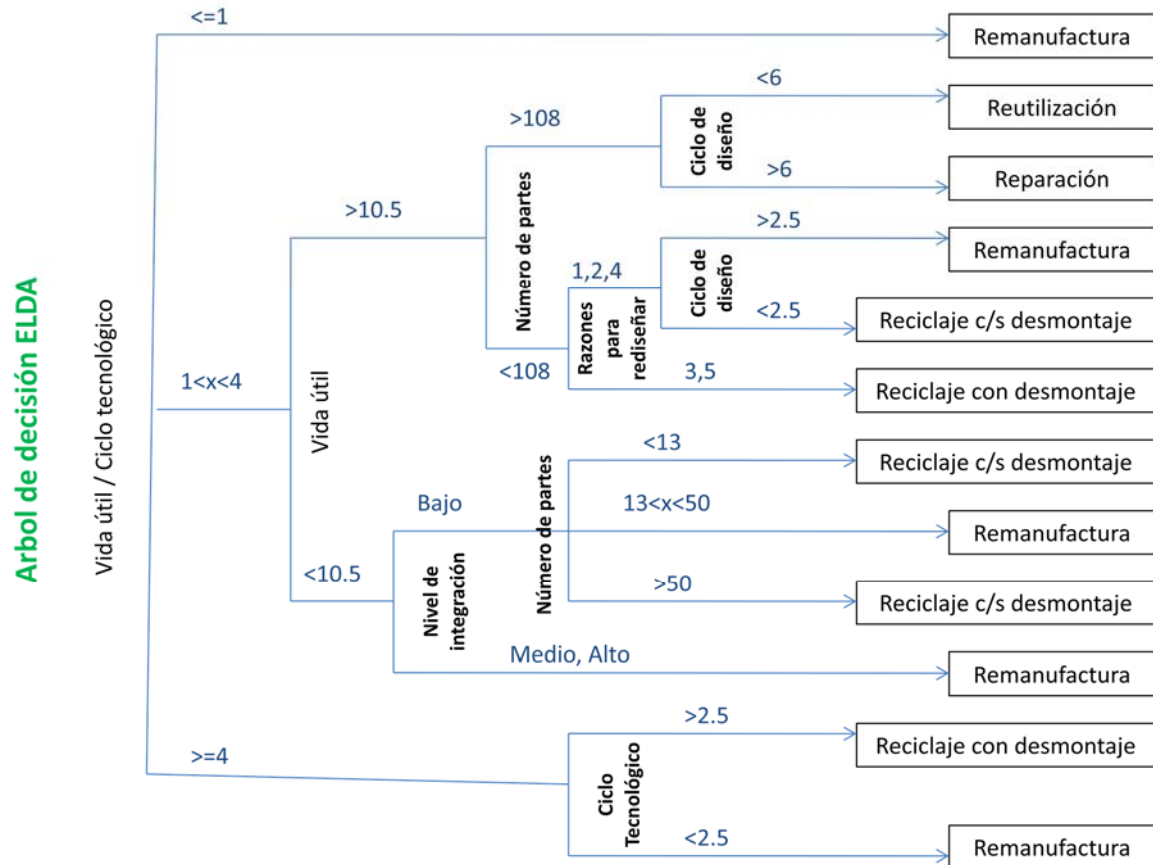
Aunque en su estudio comienzan con más características, las que finalmente conforman su modelo de decisión son las siguientes:

- Vida útil
- Ciclo tecnológico
- Nivel de integración
- Número de partes

- Razones para rediseñar
- Ciclo de diseño

Se muestra a en la Ilustración 4-2 el denominado Árbol de decisión ELDA.

Ilustración 4-2 Árbol de decisión ELDA.



Adaptado a partir de (Rose, Stevels & Ishii 2000)

La gestión de desechos en uno de los problemas domésticos más severos de Japón debido a la escasez de lugares para la disposición de desechos sólidos. Para resolver este problema es necesario desarrollar un modelo económico que proporcione políticas medioambientales comprensibles. El equipo AIM (Asia-Pacific Integrated Model) ha desarrollado diversos modelos para combatir el cambio climático. Uno de estos modelos es el AIM/Material en el que se ha desarrollado políticas para combatir el cambio climático y la gestión de desechos (Masui et al. 2002 en (Masui 2005)). Este modelo vincula el desarrollo económico y los problemas medioambientales como la reducción de CO<sub>2</sub> y la gestión de residuos sólidos.

Desde el punto de vista del productor, seguir una política de modularidad y ofrecer políticas de devoluciones generosas puede incrementar los ingresos pero también incrementa los costes debidos al incremento de la probabilidad de devolución y los costes de diseño. Este tema ha sido estudiado y se propone el uso de la modularidad en la fase de diseño para combatir este problema de cara a reducir también el volumen de desechos (Mukhopadhyay, Setoputro 2005).

Recientemente se ha realizado un estudio empírico (Quak, de Koster 2007) que estudia las reacciones en las operaciones de los minoristas y la sensibilidad de costes a las presiones de la “ventana temporal” en una zona de Alemania y determina los factores que hacen a los minoristas sensibles. En concreto se estudia:

1. Qué impacto tiene la ventana temporal en el desarrollo financiero y medioambiental.
2. Qué dimensiones relativas a la estructura de red de los minoristas y a su planificación logística determinan su sensibilidad a las ventanas de acceso temporales.

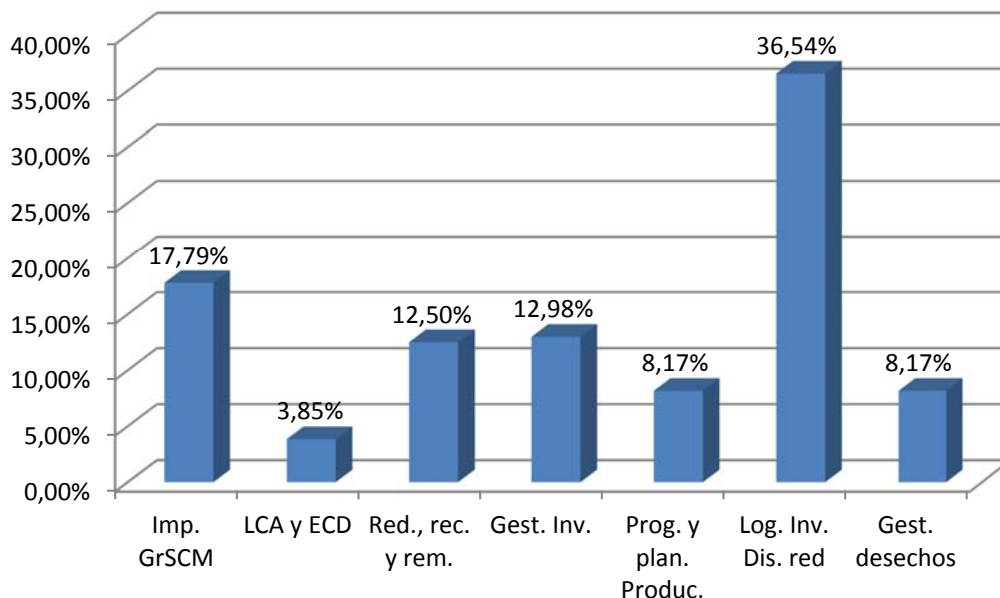
Jacques Demajorovic y otros (Demajorovic et al. 2012; 1) realizaron un estudio empírico para verificar el grado de cumplimiento de la legislación vigente en materia de información a los clientes sobre cómo proceder después del término de la vida útil de las baterías y teléfonos celulares. El estudio revela que las empresas investigadas no cumplen con la normativa y además que existe una discrepancia entre la intención y el comportamiento real del consumidor que se potencia con la deficiencia de información que reciben de las empresas estudiadas.

#### **4.1.4. Conclusiones del capítulo**

Como puede verse hay artículos que figuran en más de una categoría, esto es debido a que hay trabajos que abarcan más de un tema. Si trasladamos el contenido de la tabla anterior a un diagrama de barras podremos observar que el tema de la GSCM que más se estudia en la selección de artículos realizada es la Logística Inversa (36,54%) y el que menos el Análisis del ciclo de vida (LCA) y Diseño Consciente del medioambiente (ECD). A este respecto cabe señalar que a nivel global los trabajos se centran más en aspectos relacionados con la Operaciones Verdes que con el Diseño Verde. Esto indica que todavía hay mucho trabajo por hacer de cara a

integrar aspectos medioambientales y de modularidad en los productos en la fase de concepción de los mismos.

Gráfica 4-1 Porcentaje de artículos según el tema de estudio de la GSCM.



Elaboración propia.

Si realizamos el gráfico que relaciona las fechas de publicación de los trabajos con respecto al tema de estudio se puede comprobar que las revisiones bibliográficas y trabajos orientados a valorar la importancia de la disciplina de la GSCM no aparecen hasta cerca de una década después del comienzo de los estudios en el área, pero a partir de esa fecha se han ido publicando siguiendo una tendencia creciente, lo cual muestra que la importancia de la GSCM va en aumento.

Los trabajos que estudian el “Análisis del ciclo de vida (LCA) y Diseño Consciente del medioambiente (ECD)” son pocos, pero periódicamente aparecen trabajos que tienen interés y son tomados en consideración.

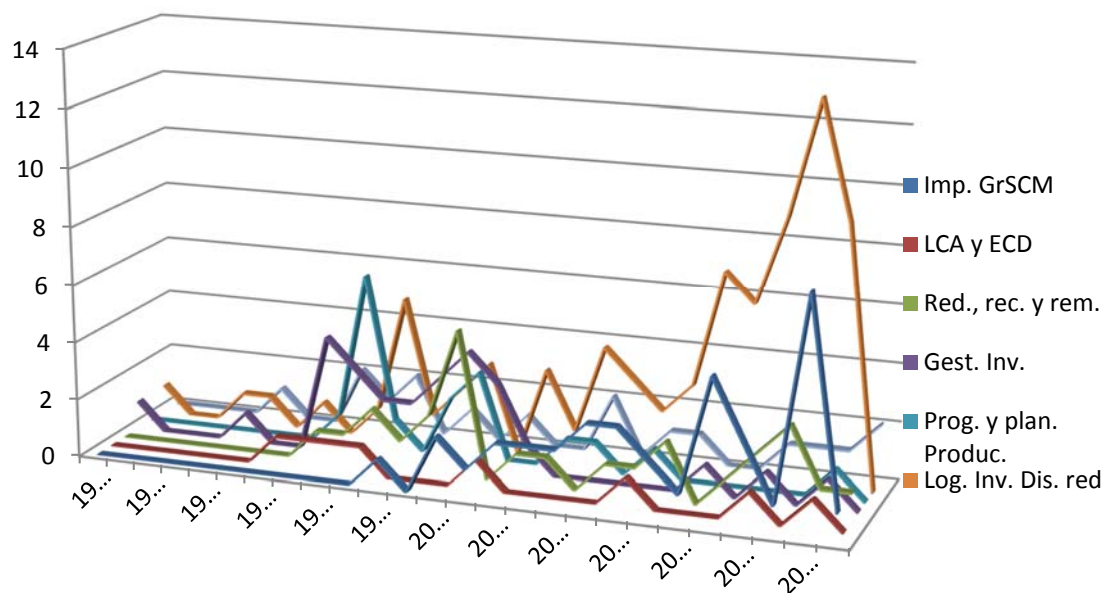
Los temas relacionados con las Operaciones Verdes son los que más han fructificado, de ellos aquellos que estudian aspectos como la “Reducción, reciclaje y reprocesado” y la “Programación y planificación de la producción” han tenido periodos en los que han propiciado la aparición de bastantes trabajos para después estabilizarse en niveles más moderados. En cambio los trabajos que han profundizado en el estudio de la “Gestión de inventarios” han tenido un periodo de producción

intensa entre 1996 y 2004 y desde ese momento no hay más trabajos que lo estudien en la selección considerada lo cual puede indicarnos que la problemática de la gestión de inventarios asociada a la GSCM ya ha sido bastante estudiada y actualmente los autores no parecen mostrar el mismo interés que antes en su estudio.

La “Logística inversa” ha sido un tema de estudio en el cual se ha trabajado desde los comienzos de la disciplina y que ha ido ganando un fuerte interés creciente con el paso del tiempo.

Por último la “Gestión de desechos” ha sido un tema que ha seguido una tendencia similar a la de la “Reducción, reciclaje y reprocesado” y la “Programación y planificación de la producción” aunque a una escala de producción de artículos menor.

Gráfica 4-2 Evolución de los artículos según el tema de estudio de la GSCM



Elaboración propia.

## 4.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

A modo de resumen la tabla 4-5 recoge los artículos revisados clasificados según el objeto de la investigación.

Tabla 4-5 Clasificación de artículos según el propósito de la investigación.

|                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Construir Teoría</b>                 | (Pohlen, Farris 1992) (Sarkis 1998) (Carter, Ellram 1998) (Fleischmann et al. 2000) (Chinander 2001) (Ferrer 2001) (Klassen 2001) (Sarkis 2003) (Murphy, Poist 2003) (Hicks et al. 2004) (Zhu, Sarkis 2004) (Mukhopadhyay, Setoputro 2005) (Nagurney, Toyasaki 2005) (Vachon, Klassen 2006) (Srivastava, Srivastava 2006a) (Prahinski, Kocabasoglu 2006) (Kocabasoglu, Prahinski & Klassen 2007) (Srivastava 2008) (Zhu, Sarkis & Lai 2008) (Seuring, Müller 2008) (Yang, Wei. Zeng Yongzhi, Wu Yue 2011) (Mann et al. 2010; 1) (Ordoobadi 2009; 7) (Gupta, Abidi & Bandyopadhyay 2013) (Kumar 2012) (Norhana Muslan, Abu Bakar Abd Hamid, Helen Tan and Halimah Idris 2013) (Vasilii, Dobrea 2012; 1) (Rose, Stevels & Ishii 2000) (Sharma 2013; 1) (Turrissi, Bruccoleri & Cannella 2013; 2) (Hazen, Hall & Hanna 2012; 13) (J. Hall et al. 2013; 4)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Aplicación de Teorías existentes</b> | (Kelle, Silver 1989) (Caruso, Colorni & Paruccini 1993) (Crainic, Gendreau & Dejax 1993) (Gupta 1993) (Jayaraman, Srivastava 1995) (Kroon, Vrijens 1995) (Ashayeri et al. 1996) (Bloemhof-Ruwaard, Salomon & Van Wassenhove 1996) (Bloemhof-Ruwaard et al. 1996) (Guide, Srivastava & Spencer 1996) (Richter 1996) (van der Laan, Dekker & Salomon 1996) (van der Laan et al. 1996) (Daniel, Guide 1997) (Guide, Srivastava 1997a) (Guide, Srivastava 1997b) (Guide, Kraus & Srivastava 1997) (Miettinen, Hamalainen 1997) (van der Laan, Salomon 1997) (Spengler et al. 1997) (Guide, Srivastava 1997) (Guide, Srivastava 1997) (Haastrop et al. 1998) (Hirsch, Kuhlmann & Schumacher 1998) (Barros, Dekker & Scholten 1998) (Giannikos 1998) (Guide, Srivastava 1998) (Jayaraman, Srivastava & Benton 1998) (Marin, Pelegrin 1998) (Min, Jayaraman & Srivastava 1998) (Moore, Gungor & Gupta 1998) (Jayaraman, Guide & Srivastava 1999) (Richter, Dobos 1999) (van der Laan, Salomon & Dekker 1999) (Klausner, Hendrickson 2000) (Linton, Johnston 2000) (Teunter, van der Laan & Inderfurth 2000) (Richter, Sombrutzki 2000) (Fleischmann et al. 2001) (Inderfurth, van der Laan 2001) (Ferrer, Whybark 2001) (Inderfurth, de Kok & Flapper 2001) (Kiesmuller, van der Laan 2001) (Majumder, Groenevelt 2001) (Minner 2001) (Moore, Gungor & Gupta 2001) (Richter, Weber 2001) (Fleischmann, Kuik & Dekker 2002) (Swenseth, Godfrey 2002) (Teunter, Vlachos 2002) (Jayaraman, Patterson & Rolland 2003) (Haas, Murphy 2003) (Kiesmuller, Scherer 2003) (Georgiadis, Vlachos 2004) (Savaskan, Bhattacharya & Van Wassenhove 2004) (Sheu, Chou & Hu 2005) (Listes, Dekker 2005) (Guide, Souza & van der Laan 2005) (Masui 2005) (Mourao, Amado 2005) (Kainuma, Tawara 2006) (min, Ko & Ko 2006) (Mostard, Teunter 2006) (Kara, Rugrungruang & Kaebernick 2007) (Matos, Hall 2007) (Vlachos, Georgiadis & Iakovou 2007b) (Hanafi, Kara & Kaebernick 2008) (Ghadge et al. 2013; 29) (Ip, Chan & Lam 2011; 10) (Ahn 2009) (Ding, Glazebrook 2013) (Toktay, L. Beril, Wei, Donna 2011) (Asif 2011; 1) (Benedito, Corominas 2011; 1) (Xanthopoulos, Vlachos & Iakovou 2011) (Panagiotidou, Nenes & Zikopoulos 2013) (Zhang, Zhang & Liu 2012; 17) (Sbihi, Eglese 2007) (V et al. 2013; 1) (Antai, Mutshinda 2010; 22) (Kumar, Dieveney & Dieveney 2009; 16) (Hernández 2011) (Mar-Ortiz, Adenso-Diaz & González-Velarde 2011; 1) (Hosseinzadeh 2012; 1) (Alshamrani 2012; 1) (Quintana et al. 2013; 1) (Gurnani, Sharma & Grewal 2010) (Paksoy, A-zceylan & Weber 2011; 1) (Vahdani, Razmi & Tavakkoli-Moghaddam 2012) (Nakashima, Loomba 2013; 2) (Qiaolun 2009; 1) (Krapp, Nebel & Sahamie 2013; 30) |

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Proporcionar evidencias</b> | (Fleischmann et al. 1997)(Rogers, Tibben-Lembke 1999)(Ritchie et al. 2000)(Rao 2002)(Baumann, Boons & Bragd 2002)(Daugherty et al. 2003)(Zhu, Cote 2004) (Zhu, Sarkis & Geng 2005)(Rao, Holt 2005)(Georgiadis, Vlachos & Tagaras 2006)(Srivastava 2007)(Quak, de Koster 2007)(Linton, Klassen & Jayaraman 2007)(Seuring, Müller 2008)(Brodin, Anderson 2008)(Li, Olorunniwo 2008)(Chen, Chang 2012a)(Foster et al. 2014; 1)(Lin 2012)(Lindskog 2012)(Choi, Wacker 2011)(Aitken, Harrison 2013; 17)(John et al. 2013; 1)(Laosirihongthong, Adebajo & Choon Tan 2013; 23)(Ovchinnikov 2011)(Chen, Chang 2012b)(Nnorom, Osibanjo 2010; 1)(Guide, Van Wassenhove 2009; 1)(Souza 2008)(Huscroft 2010; 1)(Gobbi 2011; 6)(Haji 2012)(Kapetanopoulou, Tagaras 2009)(Kapetanopoulou, Tagaras 2011; 8)(Gupta, V. , Abidi, Naseem 2013)(Wook Kim 2012; 23)(Sarmiento, Rabelo & Jones 2011; 1)(Demajorovic et al. 2012; 1)(Mihi-Ramírez, Arias-Aranda & García-Morales 2012; 1)(Jack, Powers & Skinner 2010; 20)(Madaan, Wadhwa 2010; 1)(Sophie Bernard 2010)(Liu 2013)(De Giovanni 2014)(Shi et al. 2012)(Lozada Rodríguez 2014; 1)(Kwateng et al. 2014; 1)(Vasudevan, Kalamkar & Terkar 2012; 1)(Oko, Nkamnebe 2013; 15)(Bernon, Rossi & Cullen 2011; 14)(Skapa, KlapalovĀj 2010; 26)(Sonya Hsu, Alexander & Zhu 2009; 24)(R. Huscroft et al. 2013; 1)(Tonape, Owk 2013; 1)(Bell, Mollenkopf & Stolze 2013; 7)(Erol et al. 2010; 26)(Huscroft 2010; 1)(Guzman-Siller 2009; 1)(Lee 2009; 1)(Abraham 2011; 10)(Bajdor, Grabara 2011)(Srivastava 2008; 16)(Freires 2013; 1)(Wright et al. 2011; 1)(Hamzaoui Essoussi, Linton 2010; 3) |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Elaboración propia.

Se han propuesto tres categorías: construir teoría, aplicación de teorías existentes y proporcionar evidencias.

### ***Construir teoría.***

Se agrupan en esta categoría los artículos en los que los autores proponen nuevas clases de relaciones, proposiciones, marcos de trabajo e hipótesis que pueden ser testeadas en futuros estudios de investigación. Mientras que es común en muchas disciplinas de las ciencias sociales que para construir teoría los artículos sean primero de tipo conceptual, dentro de la Dirección de Operaciones, los artículos que contribuyen a construir teoría suelen contener datos empíricos para proporcionar motivación, justificación inicial, o como apoyo para el propósito de la teoría o el marco de trabajo.

### ***Aplicación de teorías existentes.***

El segundo grupo de artículos que se ha propuesto es en el que se encuadran los trabajos donde se aplican teorías existentes, modelos o marcos de trabajos a diversos tipos de empresas.



**Proporcionar evidencias.**

Finalmente, mientras que una gran parte de la literatura en Dirección de Operaciones se basa en técnicas analíticas hay estudios orientados a proporcionar evidencias o apoyar supuestos hechos o conclusiones derivadas de estudios basados en modelos.

**4.2.1. Construir teoría**

Pohlen, Terrance L. y Farris, M Theodore, II (1992) proponen un marco conceptual para la logística inversa en el reciclado de materiales plásticos en el que concluye que es necesario reforzar las investigaciones en el uso de alianzas estratégicas, la identificación de los costes y beneficios, el análisis de localizaciones, las direcciones de la legislación, el aprendizaje a través del benchmarking y el análisis de los canales.

Sarkis (1998) realiza una clasificación de las prácticas empresariales respetuosas con el medio ambiente, entre las que incluye:

1. Ecodiseño
2. Análisis del ciclo de vida
3. Gestión de la calidad total medioambiental
4. Gestión de la cadena de suministro inversa
5. Requisitos de los sistemas de gestión medioambiental de la ISO 14000

Carter, Craig R. y Ellram, Lisa M. realizan un estudio en el que establecen el orden de prioridad de las acciones a tomar en logística inversa basándose en los trabajos previos de Stock (1992) y Kopicki y otros (1993) además de realizar una serie de proposiciones que refuerzan el marco de trabajo de la GSCM (Carter, Ellram 1998).

Se han realizado caracterizaciones de las redes de logística inversa en las que se estudia el diseño físico de las redes logísticas para las actividades de recuperación de productos (Fleischmann et al. 2000). El objetivo es identificar las características de las redes de recogida de productos y compararlas con otras estructuras logísticas como las redes tradicionales productor-distribuidor y las redes de disposición de desechos.

Ilustración 4-3 Jerarquía en logística inversa



Fuente Stock (1992) y Kopicki y otros (1993) en (Carter, Ellram 1998)

Las principales diferencias se han encontrado en:

- El grado de centralización
- Número de niveles
- Enlaces con otras redes
- Estructuras abiertas o de lazo cerrado
- Grado de ramificación de las cooperaciones

Trabajos posteriores (Kocabasoglu, Prahinski & Klassen 2007) han continuado en la misma línea presentando además tres contribuciones:

1. El conocimiento actual de las cadenas de suministro inversas es todavía limitado. Se define la investigación en cadenas de suministro inversas a través de encuestas y cuestionarios.
2. Se identifica una base teórica para las cadenas de suministro inversas.
3. Se estudian las relaciones entre investigación en cadenas de suministro inversas, investigación en cadenas de suministro directas, propensión al riesgo y e incertidumbre en los negocios.

Algunos estudios han tratado de demostrar cómo el diseño puede afectar al potencial de recuperación y como adaptar los procesos de reprocesado a familias individuales de productos usados sujetos a patrones de diseño y deterioro (Ferrer 2001). En este trabajo se desarrolla un proceso generalizado de decisiones de recuperación de 9 pasos que aplican a una bicicleta.

El grado de compromiso de los administradores en la implantación de programas de gestión medioambiental también ha sido objeto de estudio (Klassen 2001). Estos aspectos también han sido tenidos en cuenta en el trabajo de Chinander, Karen R. (Chinander 2001) donde se emplea una encuesta basada en la medida de gaps similar a la metodología de SERVQUAL en el área de la calidad de servicio.

Un factor estratégico organizacional que tiene influencia en la gestión de la cadena de suministro es la posición en el ciclo de vida del producto de la organización. El ciclo de vida típico de un producto comprende cuatro fases: la fase de introducción del producto que se caracteriza por la inversión en investigación y desarrollo del producto, una fase de crecimiento caracterizada por un incremento en la capacidad de producción y en los canales de distribución, una fase de madurez, donde las eficiencias de los procesos y costes han sido ya implementadas y una fase de caída donde el producto ya alcanza la obsolescencia.

Las decisiones de aprovisionamiento tienen gran impacto en la cadena de suministro inversa a través de los materiales que pueden ser reciclables o reutilizables o que ya sean reciclados. La selección de vendedores puede ser también una decisión importante. Los vendedores que tengan la certificación ISO 14000 pueden ser preferibles ya que existe la expectativa de que los riesgos medioambientales asociados a esos vendedores sean menores (este es un argumento análogo al de la selección de vendedores que estén certificados por la ISO 9000 donde se trata de reducir el riesgo de bajos niveles de calidad en los aprovisionamientos).

Una alternativa puede ser la implementación la gestión de la calidad medioambiental a nivel organizacional (TQEM Total Quality Environmental Management). De forma análoga a la Gestión de la Calidad Total (TQM) la TQEM un programa que puede incluir a suministradores y a consumidores. Así la certificación ISO 14000 puede convertirse en un objetivo para la organización y sus suministradores (Sarkis 2003).

Murphy, Paul R. y Poist, Richard F. (2003) estudian las perspectivas y prácticas de las empresas Estadounidenses y las no-Estadounidenses. Para los propósitos de este trabajo con “países no-estadounidenses” se refieren a Canadá así como también a los países del Oeste de Europa. Una comparación entre Estados Unidos y Canadá y los países del oeste de Europa es interesante por muchas razones, una de ellas es que ambos tienden a tener muchas similitudes en su cultura organizacional y en su orientación temporal. (ej. El tiempo es dinero). Para la mayoría de las proposiciones estudiadas en este trabajo los resultados indican que las empresas Estadounidenses y no-Estadounidenses tienden a mostrar perspectivas y prácticas similares en la gestión de la logística medioambiental aunque también hay diferencias entre Estados Unidos y Canadá y los Países del Oeste de Europa como el activismo y concienciación medioambiental. Por ejemplo, una investigación del Equipo de Investigación de Logística Global de la Universidad de Michigan (1995 en (Murphy, Poist 2003)) encontró que las empresas Europeas muestran altos niveles de sensibilidad medioambiental. De igual manera Carter (Carter, Kale & Grimm 2000) descubrió que los gestores de compras Alemanes están mucho más involucrados en el aprovisionamiento verde que sus homólogos estadounidenses. Además la Unión Europea y Canadá han sido particularmente activos en el desarrollo de legislación medioambiental en respuesta a las preocupaciones medioambientales de los ciudadanos (Cooper 1994 en (Murphy, Poist 2003)).

Hicks, C., Heidrich, O., McGovern, T. y Donnelly, T. (2004) presentan un modelo para el análisis de la cadena de suministro y los desechos que permite representar los desechos físicos y no físicos representados por procesos e interconexiones. En el modelo los destinos de los desechos que resultan de la masa transferida se clasifican en reutilización, reciclado, recuperación energética y disposición segura. En este trabajo se hace un análisis de concepto “desperdicio” bastante amplio en el sentido de despilfarro o ineficiencia no en el sentido de residuos. Ohno (1998) en (Hicks et al. 2004) el fundador del sistema de producción Toyota describe 7 tipos principales de desperdicios.

1. Desperdicios de sobreproducción
2. Desperdicios de esperas
3. Desperdicios de los transportes
4. Desperdicios por procesado inadecuado

5. Desperdicios por inventario inadecuado
6. Desperdicios por movimientos inadecuados
7. Coste de defectos

Zhu, Qinghua y Sarkis, Joseph (Zhu, Sarkis 2004) han estudiado las relaciones que se producen entre las prácticas operativas y el desempeño en las empresas Chinas que han comenzado a implantar la GSCM. El resultado general es que las empresas exportadoras Chinas deben superar ciertas barreras medioambientales e incrementar sus capacidades competitivas (Deng y Wang 1998 en (Zhu, Sarkis 2004)). Por ejemplo, Bristol-Myers Squibb, IBM y Xerox han solicitado a sus suministradores chinos que desarrollen sistemas de gestión medioambiental compatibles con la ISO 14000, mientras que Ford, GM y Toyota han requerido a sus suministradores chinos que obtengan la certificación ISO 14000 (GEMI, 2001 en (Zhu, Sarkis 2004)).

Este tipo de estudio también se ha llevado a cabo en empresas de Estados Unidos (Vachon, Klassen 2006).

En caso de la fabricación bajo pedido ha sido también estudiado de cara a poder establecer políticas óptimas de retorno de materiales (Mukhopadhyay, Setoputro 2005). También se ha tratado de desarrollar marco teóricos para la modelización de la gestión de la cadena de suministro inversa de los desechos electrónicos que incluye el reciclado (Nagurney, Toyasaki 2005).

La literatura existente agrupa las técnicas cuantitativas de pronósticos en dos categorías, series temporales y análisis causales (Jeong et al., 2002 en (Srivastava, Srivastava 2006a)).

En la revisión bibliográfica de Prahinski, Carol y Kocabasoglu, Canan (Prahinski, Kocabasoglu 2006) se establecen las siguientes alternativas de disposición.

1. Reutilización, esto es, reutilizar o revender el producto
2. Actualizar el producto, reempaquetar, reparar, restaurar, o reprocesar el producto.
3. Recuperación de materiales, lo que incluye la canibalización y el reciclado.
4. Gestión de desechos lo que incluye la incineración o el vertido controlado.

Hay tres drivers que operan sobre la gestión de la cadena de suministro inversa que son la economía, las regulaciones y la presión de los consumidores. Autores como

Fleischmann sugieren que la recompra puede llevar a altos retornos que favorecerían la aparición de economías de escala (Fleischmann et al. 2001). En algunos modelos se asume que los consumidores son la fuente del retorno de productos de igual manera que han hechos otros autores previamente (Kroon, Vrijens 1995, Jayaraman, Patterson & Rolland 2003, Srivastava, Srivastava 2006a).

Asumimos que la logística inversa y la red de recuperación de valor se ha diseñado siguiendo un esquema de entrega, por ejemplo, el consumidor entrega el producto usado a un centro de recogida o a un centro de recompra (generalmente en un intervalo de tiempo conocido a priori por teléfono o internet).

Para avanzar en la investigación y en la práctica de la gestión de la cadena de suministro inversa se hace necesario disponer de escalas de medida. En general la identificación de una escala de medida apropiada para conceptos y teorías emergentes es necesario para complementar la robustez de la investigación y para avanzar en el conocimiento del área. En este sentido se ha desarrollado una lista de ítems para evaluar el grado de implementación de la GSCM y el desarrollo de resultados (Zhu, Sarkis & Lai 2008).

Tabla 4-6 Lista de ítems a medir para la implementación de las prácticas de la GSCM.

| Factores                       | Ítems a medir                                                                                         |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gestión Medioambiental interna | 1. Compromiso de los administradores sénior con la GSCM.                                              |
|                                | 2. Apoyo de los mandos intermedios a la GSCM                                                          |
|                                | 3. Cooperación interfuncional para las mejoras medioambientales                                       |
|                                | 4. Gestión de la calidad total medioambiental                                                         |
|                                | 5. Compromiso medioambiental y programas de auditorias                                                |
|                                | 6. Certificación ISO 14000                                                                            |
|                                | 7. Sistema de gestión medioambiental existente                                                        |
| Aprovisionamiento verde        | 8. Etiquetado ecológico de los productos                                                              |
|                                | 9. Cooperación con los suministradores para conseguir objetivos medioambientales                      |
|                                | 10. Auditorias medioambientales para los sistemas de gestión medioambiental de los suministradores.   |
|                                | 11. Certificación ISO 14000 para los suministradores                                                  |
|                                | 12. Evaluaciones secundarias de las prácticas respetuosas con el medioambiente de los suministradores |
| Cooperación con                | 13. Cooperación con los consumidores para el eco-diseño                                               |
|                                | 14. Cooperación con los consumidores para una producción más limpia                                   |
|                                | 15. Cooperación con los consumidores para un empaquetado ecológico                                    |

|                           |                                                                                                     |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| los consumidores          |                                                                                                     |
| Eco diseño                | 16. Diseño de productos para reducir el consumo de materiales y energía                             |
|                           | 17. Diseño de productos para la reutilización, reciclado, recuperación de materiales y componentes. |
|                           | 18. Diseño de productos y procesos para eliminar o reducir el uso de materiales peligrosos.         |
| Inversión en recuperación | 19. Inversión en la recuperación de excesos de materiales e inventarios.                            |
|                           | 20. Venta de restos y materiales usados                                                             |
|                           | 21. Venta de equipamiento excedente                                                                 |

1 = no considerado, 2= planeando considerarlo, 3= considerado actualmente, 4 = comenzando su implementación, 5= implementado exitosamente.

Fuente (Zhu, Sarkis & Lai 2008).

Tabla 4-7 Lista de ítems a medir para el desarrollo de resultados de las prácticas de la GSCM.

| Factores                  | Ítems a medir                                                       |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Desarrollo medioambiental | 1. Reducción de las emisiones al aire                               |
|                           | 2. Reducción de los vertidos al agua                                |
|                           | 3. Reducción de los residuos sólidos                                |
|                           | 4. Reducción del consumo de materiales tóxicos/nocivos o peligrosos |
|                           | 5. Reducción de la frecuencia de accidentes medioambientales        |
|                           | 6. Mejoras de la situación medioambiental de la empresa             |
| Desarrollo económico      | 1. Descenso en el coste de los materiales comprados                 |
|                           | 2. Descenso en el coste de consumo de energía                       |
|                           | 3. Descenso en las tasas por tratamiento de aguas                   |
|                           | 4. Descenso en las tasas por vertidos                               |
|                           | 5. Descenso de los accidentes medioambientales                      |
| Desarrollo operacional    | 1. Incremento de la cantidad de bienes distribuidos a tiempo        |
|                           | 2. Descenso del nivel de inventarios                                |
|                           | 3. Descenso de la tasa de defectos                                  |
|                           | 4. Promocionar la calidad de los productos                          |
|                           | 5. Incrementar la línea de productos                                |
|                           | 6. Mejorar la capacidad de utilización                              |

1 = nada en absoluto, 2 = un poco, 3 = en algún grado, 4 = relativamente significativo, 5 = significativamente

Fuente (Zhu, Sarkis & Lai 2008).

Tabla 4-8 Resumen de Hipótesis y Propositiones en el desarrollo de teoría en la GSCM.

| RESUMEN DE HIPÓTESIS Y PROPOSICIONES DESARROLLADAS EN LA GSCM |                                                                                                                                                                                                                                                           |              |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| AUTOR                                                         | HIPÓTESIS / PROPOSICIÓN                                                                                                                                                                                                                                   | RESULTADO    |
| Carter, Ellram 1998                                           | Proposición 1a. La influencia percibida de la regulación sectorial en las actividades de logística inversa será significativamente más importante que la entrada, salida o nivel de competencia en el sector.                                             | Se sostiene  |
|                                                               | Proposición 1b. Las salidas del sector tienen un nivel de impacto mayor en la logística inversa del sector que las entradas o el nivel de competencia.                                                                                                    | Se sostiene  |
|                                                               | Proposición 2. Cuanto mayor es la percepción de que un input es respetuoso con el medioambiente mayor es el grado de compra de dicho ítem.                                                                                                                | Se sostiene  |
|                                                               | Proposición 3a. Cuanto mayor es la incertidumbre en la entrada en un sector mayores serán los esfuerzos para incrementar el nivel de coordinación vertical con los suministradores.                                                                       | Se sostiene  |
|                                                               | Proposición 3b. Cuanto mayor es el nivel de coordinación vertical con los suministradores y compradores mayor será el nivel de las actividades de logística inversa.                                                                                      | Se sostiene  |
|                                                               | Proposición 4. Un sincero compromiso de todos los entes implicados en la empresa (stakeholders) es necesario para el éxito de los programas de logística inversa.                                                                                         | Se sostiene  |
|                                                               | Proposición 5a. El apoyo de la alta dirección es necesario para asegurar el éxito continuado de los programas de logística inversa.                                                                                                                       | Se sostiene  |
|                                                               | Proposición 5b. El éxito de los programas de logística inversa requiere de políticas emprendedoras efectivas.                                                                                                                                             | Se sostiene  |
|                                                               | Proposición 6. El éxito de los programas de logística inversa puede verse positivamente afectado por la existencia de un sistema de incentivos que revierta en los trabajadores y administradores por su implicación en actividades de logística inversa. | Se sostiene  |
|                                                               | Hipótesis 1a. A medida que el personal administrativo de la planta se centra en la obtención de beneficios económicos a corto plazo la planta muestra un incremento de la reactividad hacia la                                                            | Se sostiene. |



|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                           |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Klassen 2001 | gestión medioambiental.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                           |
|              | Hipótesis 1b. A medida que el personal administrativo de la planta se centra en la obtención de beneficios económicos a largo plazo la planta muestra un incremento de la proactividad hacia la gestión medioambiental.                                                                                                                                                       | No se sostiene.           |
|              | Hipótesis 1c. A medida que el personal administrativo incrementa su énfasis en el cumplimiento de la ley la planta muestra un incremento de la reactividad hacia la gestión medioambiental.                                                                                                                                                                                   | Se sostiene parcialmente. |
|              | Hipótesis 1d. A medida que el personal administrativo incrementa su énfasis en los valores éticos la planta muestra un incremento de la proactividad hacia la gestión medioambiental.                                                                                                                                                                                         | Se sostiene.              |
|              | Hipótesis 2. A medida que la opinión del personal administrativo incrementa su énfasis en los negocios y el medioambiente, la planta muestra un incremento de la proactividad hacia la gestión medioambiental.                                                                                                                                                                | Se sostiene.              |
|              | Hipótesis 3. A medida que la perspectiva de la producción de la planta se hace más favorable, la planta muestra un incremento de la proactividad hacia la gestión medioambiental.                                                                                                                                                                                             | Se sostiene.              |
|              | Hipótesis 4. A medida que aumenta el tamaño de la planta, la planta muestra un incremento de la proactividad hacia la gestión medioambiental.                                                                                                                                                                                                                                 | Se sostiene.              |
|              | Hipótesis 5. A medida que las instalaciones de la planta envejecen, la planta muestra un incremento de la reactividad hacia la gestión medioambiental.                                                                                                                                                                                                                        | Se sostiene.              |
|              | Hipótesis 6. Una planta que ha experimentado recientemente una crisis medioambiental muestra un incremento de la proactividad hacia la gestión medioambiental.                                                                                                                                                                                                                | Se sostiene.              |
|              | Proposición 1. La implicación de los trabajadores en el nivel de protección medioambiental deseada por la alta dirección depende del grado en el que comprendan (i) el vínculo entre sus acciones y el desarrollo medioambiental, (ii) qué parámetros medioambientales son evaluados y (iii) el grado en que son solicitados para un nivel de desarrollo medioambiental dado. | Se sostiene.              |
|              | Proposición 2. El nivel de desarrollo medioambiental de las empresas será mejor si los trabajadores tienen las percepciones correctas del vínculo entre sus                                                                                                                                                                                                                   | Se sostiene.              |

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                           |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Chinander 2001     | acciones y las consecuencias medioambientales y si tienen responsabilidad en dichas consecuencias medioambientales.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                           |
|                    | Proposición 3. Comunicar a los trabajadores la importancia de la protección medioambiental es más difícil para las empresas que comunicarles la importancia de la protección de seguridad. Las empresas necesitan poner más esfuerzo en la comunicación y formación de los trabajadores para que comprendan la conexión entre sus acciones y el desarrollo medioambiental que por el desarrollo de la seguridad. Las empresas que tienen mejor comunicación en esta área pueden tener un mejor desarrollo medioambiental. | Se sostiene.              |
|                    | Proposición 4. Dar responsabilidades individuales para el desarrollo medioambiental es más difícil para las empresas que dar responsabilidades para el desarrollo financiero o de seguridad.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Se sostiene.              |
|                    | Proposición 5. El uso de un sistema de gestión integrado puede ayudar a las empresas a implementar sus estrategias medioambientales creando altos niveles de responsabilidad para el desarrollo medioambiental, así como al alineamiento de las creencias de los empleados y los administradores en la estrategia medioambiental.                                                                                                                                                                                         | Se sostiene.              |
|                    | Proposición 1. Las empresas Estadounidenses y no-Estadounidenses tienen diferentes puntos de vista sobre la importancia de los temas medioambientales.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | No se sostiene.           |
| Murphy, Poist 2003 | Proposición 2. Las empresas Estadounidenses y no-Estadounidenses han establecido diferentes políticas para la gestión de temas medioambientales.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Se sostiene               |
|                    | Proposición 3. Las empresas Estadounidenses y no-Estadounidenses tienen diferentes puntos de vista con respecto a las principales razones para establecer políticas medioambientales.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | No se sostiene            |
|                    | Proposición 4. Las empresas Estadounidenses y no-Estadounidenses tienen diferentes puntos de vista con respecto a la selección de aspectos medioambientales.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Se sostiene parcialmente. |
|                    | Proposición 5. Las empresas Estadounidenses y no-Estadounidenses tienen diferentes puntos de vista con respecto al impacto en el que los aspectos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | No se sostiene            |

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                     |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zhu, Sarkis 2004 | medioambientales tienen sobre las funciones logísticas.                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                     |
|                  | Proposición 6. Las empresas Estadounidenses y no-Estadounidenses utilizan distintas estrategias para gestionar y responder a los temas medioambientales en logística.                                                                                                                                                    | No se sostiene                                                                                                                                      |
|                  | Hipótesis 1. Las empresas que tienen altos niveles de adopción de prácticas de la cadena de suministro inversa tienen mejores desarrollos medioambientales.                                                                                                                                                              | Se sostiene                                                                                                                                         |
|                  | Hipótesis 2. Las empresas que tienen altos niveles de adopción de prácticas de la cadena de suministro inversa tienen mejores desarrollos económicos.                                                                                                                                                                    | Se sostiene                                                                                                                                         |
|                  | Hipótesis 3. Las empresas que tienen altos niveles de adopción de prácticas de la cadena de suministro inversa tienen peores desarrollos económicos.                                                                                                                                                                     | Se sostiene salvo en el caso de Inversiones en recuperación de materiales                                                                           |
|                  | Hipótesis 4. La relación positiva entre las prácticas de la gestión de la cadena de suministro inversa y el desarrollo medioambiental es más fuerte en empresas con altos niveles de adopción de prácticas en gestión de la calidad que en empresas con bajos niveles de adopción de prácticas en gestión de la calidad. | Se sostiene parcialmente en el caso de GSCM externa. En el resto no se sostiene.                                                                    |
|                  | Hipótesis 5. La relación positiva entre las prácticas de la gestión de la cadena de suministro inversa y el desarrollo económico es más fuerte en empresas con altos niveles de adopción de prácticas en gestión de la calidad que en empresas con bajos niveles de adopción de prácticas en gestión de la calidad.      | Se sostiene en el caso de Gestión medioambiental interna y GSCM externa. No se sostiene para Inversiones en recuperación de materiales y Eco-diseño |
|                  | Hipótesis 6. La relación positiva entre las prácticas de la gestión de la cadena de suministro inversa y el desarrollo medioambiental es más débil en empresas con altos niveles de implantación de prácticas del "justo a tiempo" que en empresas con bajos niveles de adopción de prácticas del "justo a tiempo".      | Se sostiene sólo en el caso de Gestión medioambiental interna                                                                                       |
|                  | Hipótesis 7. La relación positiva entre las prácticas                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                     |

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                           |                        |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|                      | de la gestión de la cadena de suministro inversa y el desarrollo económico es más fuerte en empresas con altos niveles de implantación de prácticas del “justo a tiempo” que en empresas con bajos niveles de adopción de prácticas del “justo a tiempo”. | No se sostiene.        |
| Vachon, Klassen 2006 | H1a. A medida que crece la integración de la logística las actividades de monitoreo medioambiental decrecen.                                                                                                                                              | Se sostiene débilmente |
|                      | H1b. A medida que el grado de integración logística crece la colaboración medio ambiental crece.                                                                                                                                                          | Se sostiene            |
|                      | H2a. A medida que crece la integración tecnológica las actividades de monitoreo medioambiental decrecen.                                                                                                                                                  | Se sostiene débilmente |
|                      | H2b. A medida que el grado de integración tecnológica crece la colaboración medioambiental crece.                                                                                                                                                         | Se sostiene            |
|                      | H3a. A medida que la base de suministradores y consumidores se hace cada vez más concentrada el monitoreo medioambiental decrece.                                                                                                                         | No se sostiene         |
|                      | H3b. A medida que la base de suministradores y consumidores se hace cada vez más concentrada la colaboración medioambiental crece.                                                                                                                        | Se sostiene            |
|                      | Proposición 1. Los compromisos organizacionales en la cadena de suministro inversa tienen influencias positivas en el desarrollo operacional.                                                                                                             | Se sostiene            |
|                      | Proposición 2. Los compromisos organizacionales influyen positivamente en la satisfacción de las relaciones en la cadena de suministro inversa.                                                                                                           | Se sostiene            |
|                      | Proposición 3. La calidad de servicio y las estrategias de recuperación influyen positivamente o negativamente en las intenciones de reaprovisionamiento de la cadena de suministro inversa.                                                              | Se sostiene            |
|                      | Proposición 3a. La mejora de la calidad de servicio en la cadena de suministro inversa influye positivamente en la satisfacción del cliente.                                                                                                              | Se sostiene            |
|                      | Proposición 3b. La satisfacción del cliente en la cadena de suministro inversa influye positivamente en las intenciones de reaprovisionamiento.                                                                                                           | Se sostiene            |
|                      | Proposición 3c. Las estrategias de servicios de recuperación en la cadena de suministro inversa reducen el grado de insatisfacción del consumidor.                                                                                                        | Se sostiene            |

|                                          |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                     |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Prahinski, Kocabasoglu<br>2006           | Proposición 4. El tiempo de erosión del valor de los productos en los mercados secundarios depende de los atributos y precios del producto en los mercados primarios y secundarios. | Se sostiene                                                                                                         |
|                                          | Proposición 5. La canibalización de mercados limita las alternativas de disposición                                                                                                 | Se sostiene                                                                                                         |
|                                          | Proposición 6. El nivel de calidad de un producto reprocesado es el mismo que el de un producto nuevo.                                                                              | Se sostiene                                                                                                         |
|                                          | Proposición 7. El reprocesado influye en el desarrollo de los sistemas de control y planificación de la producción.                                                                 | Se sostiene                                                                                                         |
|                                          | Proposición 8. La selección de instalaciones de recuperación está alineada con las prioridades competitivas.                                                                        | Se sostiene                                                                                                         |
|                                          | Proposición 9. La incertidumbre del entorno influye en las relaciones de los canales de la cadena de suministro inversa.                                                            | Se sostiene                                                                                                         |
| Kocabasoglu, Prahinski<br>& Klassen 2007 | Proposición 10. Las regulaciones medioambientales, la industria y el volumen influyen en el nivel de implicación en la cadena de suministro inversa.                                | Se sostiene                                                                                                         |
|                                          | Hipótesis 1. Hay una relación positiva directa entre la investigación en la cadena de suministro directa y la investigación en la cadena de suministro inversa.                     | No se sostiene para modelos de reacondicionamiento.<br>Se sostiene para modelos de reciclado y gestión de desechos. |
|                                          | Hipótesis 2. Hay una relación positiva directa entre la propensión al riesgo en la cadena de suministro directa y la investigación en la cadena de suministro directa.              | Se sostiene en todos los modelos                                                                                    |
|                                          | Hipótesis 3. Hay una relación positiva directa entre la propensión al riesgo en la cadena de suministro inversa y la investigación en la cadena de suministro inversa.              | Se sostiene en todos los modelos                                                                                    |
|                                          | Hipótesis 4a . Hay una relación positiva directa entre la generosidad percibida y la investigación en la cadena de suministro directa.                                              | No se sostiene.                                                                                                     |
|                                          | Hipótesis 4b . Hay una relación positiva directa entre el dinamismo percibido y la investigación en la cadena de suministro directa.                                                | No se sostiene.                                                                                                     |

|                                                                                                                                                 |                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hipótesis 4c. Hay una relación negativa directa entre la hostilidad percibida y la investigación en la cadena de suministro directa.            | No se sostiene.                                                                                                     |
| Hipótesis 4d. Hay una relación positiva directa entre la heterogeneidad percibida y la investigación en la cadena de suministro directa.        | No se sostiene.                                                                                                     |
| Hipótesis 5a . Hay una relación positiva directa entre la generosidad percibida y la investigación en la cadena de suministro inversa.          | No se sostiene.                                                                                                     |
| Hipótesis 5b . Hay una relación positiva directa entre el dinamismo percibido y la investigación en la cadena de suministro inversa.            | No se sostiene.                                                                                                     |
| Hipótesis 5c. Hay una relación negativa directa entre la hostilidad percibida y la investigación en la cadena de suministro inversa.            | No se sostiene para modelos de reacondicionamiento.<br>Se sostiene para modelos de reciclado y gestión de desechos. |
| Hipótesis 5d. Hay una relación positiva directa entre la heterogeneidad percibida y la investigación en la cadena de suministro inversa.        | No se sostiene.                                                                                                     |
| Hipótesis 6a. Hay una relación positiva directa entre la generosidad percibida y la propensión al riesgo en la cadena de suministro directa.    | Se sostiene en todos los modelos.                                                                                   |
| Hipótesis 6b. Hay una relación positiva directa entre el dinamismo percibido y la propensión al riesgo de la cadena de suministro directa.      | Se sostiene en todos los modelos.                                                                                   |
| Hipótesis 6c. Hay una relación negativa directa entre la hostilidad percibida y la propensión al riesgo de la cadena de suministro directa.     | No se sostiene.                                                                                                     |
| Hipótesis 6d. Hay una relación positiva directa entre la heterogeneidad percibida y la propensión al riesgo de la cadena de suministro directa. | Se sostiene en todos los modelos.                                                                                   |
| Hipótesis 7a. Hay una relación negativa directa entre la generosidad percibida y la propensión al riesgo en la cadena de suministro inversa.    | Se sostiene en todos los modelos.                                                                                   |
| Hipótesis 7b. Hay una relación positiva directa entre el dinamismo percibido y la propensión al riesgo de la cadena de suministro inversa.      | No se sostiene.                                                                                                     |
| Hipótesis 7c. Hay una relación negativa directa entre la hostilidad percibida y la propensión al riesgo de la cadena de suministro inversa.     | No se sostiene.                                                                                                     |

|                                                                                                                                                                               |                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Hipótesis 7d. Hay una relación positiva directa entre la heterogeneidad percibida y la propensión al riesgo de la cadena de suministro inversa.                               | No se sostiene.                                      |
| Hipótesis 8. Hay una relación positiva directa entre la propensión al riesgo de la cadena de suministro directa y la propensión al riesgo de la cadena de suministro inversa. | Sólo se sostiene en modelos donde se da generosidad. |

Elaboración propia.

#### 4.2.2. Aplicación de teorías existentes

En la modelización del comportamiento de las GSCM ha tenido gran impacto la aplicación de las técnicas procedentes de la Investigación de Operaciones.

La Programación Lineal (LP) y Programación Lineal Entera Mixta (MILP) han sido aplicadas para el estudio de los containers reutilizables primeramente por (Kelle, Silver 1989) y posteriormente por (Kroon, Vrijens 1995), para desarrolla un modelo matemático de localización para la planificación de los sistemas de gestión de los residuos sólidos urbanos (Caruso, Colorni & Paruccini 1993), para el modelo MEMCOLA (Múltiple Equipment Multiple Cover facility Location-Allocation) que es un modelo de cobertura multinivel que busca encontrar la localización de un numero de instalaciones y dar el número de los diferentes equipos de la red (Jayaraman, Srivastava 1995), para el estudio del problema del diseño simultáneo de una red de distribución con plantas y unidades de disposición de residuos y la coordinación de los flujos de productos y los flujos de residuos en la red (Bloemhof-Ruwaard, Salomon & Van Wassenhove 1996)(Spengler et al. 1997), para el análisis de distintos escenarios con diferentes estrategias de reciclado para el sector Europeo de la pulpa y el papel (Bloemhof-Ruwaard et al. 1996), para modelizar las redes de reciclado de la arena procedente de la construcción primero (Barros, Dekker & Scholten 1998) y posteriormente (Listes, Dekker 2005), para un modelo multiobjetivo para la localización de instalaciones de disposición o tratamiento y transporte de residuos peligrosos donde algunos de los nodos de la red pueden ser los núcleos de población donde se generan los residuos peligrosos para ser transportados a las plantas de tratamiento y los cuatro objetivos a conseguir son (1) minimización del coste total operativo, (2) minimización del riesgo total percibido, (3) distribución equitativa del riesgo entre los centros de producción y (4) distribución equitativa de la infrautilización de las

instalaciones de tratamiento (Giannikos 1998), para desarrollar un modelo de gestión logística de ciclo cerrado denominado REVLOG basado en un programa lineal entero mixto (Jayaraman, Guide & Srivastava 1999), para evaluar el impacto del retorno de productos en el diseño de las redes (Fleischmann et al. 2001), para la planificación de materiales (Ferrer, Whybark 2001), para desarrollar un modelo analítico que minimiza los costes de la distribución inversa que considera que la demanda del consumidor puede provenir de más de un centro de distribución (Jayaraman, Patterson & Rolland 2003) y para desarrollar un modelo operativo integral de la GSCM (Sheu, Chou & Hu 2005).

La Programación Dinámica se ha aplicado también a modelos para la localización de containers vacíos en un sistema de distribución y transporte que cuenta con la complejidad específica de este tipo de problemas, particularmente asociada al espacio, y la dependencia del tiempo, la incertidumbre del suministro y los datos de la demanda (Kelle, Silver 1989), (Crainic, Gendreau & Dejax 1993). También se ha aplicado a algoritmos de Wagner/Whitin para reprocesado (Richter, Sombrutzki 2000) y (Richter, Weber 2001). Otras aplicaciones que se le ha dado a la Programación Dinámica han sido para evaluar modelos estocásticos de reprocesado con múltiples opciones de reutilización (Inderfurth, de Kok & Flapper 2001), (Inderfurth, van der Laan 2001) y (Kiesmuller, Scherer 2003).

La teoría de juegos ha sido empleada para desarrollar un modelo de dos periodos de reprocesado en el que se incluye la competición. Una empresa productora de equipos originales compete con una empresa de reprocesado local en diversas configuraciones de logística inversa para el retorno de ítems (Majumder, Groenevelt 2001).

Las cadenas de Markov y la Teoría de colas también han sido empleadas en trabajos para realizar modelos teóricos de inventarios multi-escalón, que aparecieron cuando el modelo METRIC fue desarrollado por la Rand Corporation para los sistemas de inventarios multi-escalón de máquinas reparables de la fuerza aérea de los Estados Unidos (Gupta 1993), para comparar distintas alternativas de gestión de inventarios y modelos  $(s,Q)$  (van der Laan, Dekker & Salomon 1996, van der Laan et al. 1996)(van der Laan, Salomon & Dekker 1999)(Fleischmann, Kuik & Dekker 2002), para la planificación de la producción en entornos con reprocesado y disposición (van der Laan, Salomon 1997), y para el estudio de redes estocásticas con retorno de productos (Inderfurth, de Kok & Flapper 2001, Kiesmuller, van der Laan 2001).



La Programación no Lineal ha tenido sus aplicaciones en la gestión de inventarios para realizar extensiones del modelo de la cantidad económica de pedido (EOQ) (Richter 1996) (Richter, Dobos 1999), para evaluar la efectividad de los stocks de seguridad utilizados en los sistemas de planificación de materiales para actuar de colchón contra la incertidumbre inherente a los sistemas de reprocesado, más concretamente desarrollo de stocks de seguridad con un sistema MRP modificado para su uso en entornos de reprocesado (Guide, Srivastava 1997), para desarrollar un modelo de determinación conjunta de decisiones sobre la variedad del producto y las decisiones de pedidos OPROVAR (optimization of product variety and ordering strategy) (Jayaraman, Srivastava & Benton 1998), para el análisis de un problema de localización de una nueva planta con ítems retornados (Marin, Pelegrin 1998).

Los métodos heurísticos se han aplicado a modelos teóricos de inventarios multi-escalón (Gupta 1993), para desarrollar un modelo matemático de localización para la planificación de los sistemas de gestión de los residuos sólidos urbanos (Caruso, Colorni & Paruccini 1993), al estudio del problema del diseño simultáneo de una red de distribución con plantas y unidades de disposición de residuos y la coordinación de los flujos de productos y los flujos de residuos en la red (Bloemhof-Ruwaard, Salomon & Van Wassenhove 1996), para el análisis de distintos escenarios con diferentes estrategias de reciclado para el sector Europeo de la pulpa y el papel (Bloemhof-Ruwaard et al. 1996), para comparar distintas alternativas de gestión de inventarios y modelos (s,Q) (van der Laan et al. 1996), para evaluar la efectividad de los stocks de seguridad utilizados en los sistemas de planificación de materiales para actuar de colchón contra la incertidumbre inherente a los sistemas de reprocesado, más concretamente desarrollo de stocks de seguridad con un sistema MRP modificado para su uso en entornos de reprocesado (Guide, Srivastava 1997), para el estudio del problema del diseño simultáneo de una red de distribución con plantas y unidades de disposición de residuos y la coordinación de los flujos de productos y los flujos de residuos en la red (Spengler et al. 1997), para realizar una revisión exhaustiva de la evolución de los modelos de localización y rutas que se han venido desarrollando y exponer futuras líneas de investigación (Min, Jayaraman & Srivastava 1998), para el análisis de un problema de localización de una nueva planta con ítems retornados (Marin, Pelegrin 1998), para modelizar las redes de reciclado de la arena procedente de la construcción (Barros, Dekker & Scholten 1998), para planificación de procesos para el reprocesado y el reciclaje (Moore, Gungor & Gupta 2001), para evaluar modelos estocásticos de reprocesado con múltiples opciones de reutilización

(Inderfurth, de Kok & Flapper 2001), también se ha aplicado a algoritmos de Wagner/Whitin para reprocesado (Richter, Sombrutzki 2000) y (Richter, Weber 2001), para la planificación de materiales (Ferrer, Whybark 2001), para desarrollar un modelo analítico que minimiza los costes de la distribución inversa que considera que la demanda del consumidor puede provenir de más de un centro de distribución (Jayaraman, Patterson & Rolland 2003), para evaluar modelos estocásticos de reprocesado con múltiples opciones de reutilización (Kiesmuller, Scherer 2003) y para encontrar soluciones de alta calidad para la optimización de los recorridos de los vehículos de recogida de basuras en Lisboa (Mourao, Amado 2005).

También se han desarrollado trabajos aplicando algoritmos Meta heurísticos para comparar distintas alternativas de gestión de inventarios y modelos (s,Q) (van der Laan, Salomon & Dekker 1999), para evaluar modelos estocásticos de reprocesado con múltiples opciones de reutilización (Inderfurth, van der Laan 2001), para combinar el problema de stock de seguridad en la planificación general de la cadena de suministro con la integración del retorno de productos para la reutilización (Minner 2001), para evaluar opciones de disposición (Teunter, Vlachos 2002) y para evaluar redes de logística inversa multi-escalón (min, Ko & Ko 2006).

Las redes de Petri son técnicas gráficas y matemáticas útiles para el modelado de sistemas concurrentes, asíncronos, distribuidos, paralelos, no deterministas y estocásticos. Las redes de Petri han aparecido recientemente como un enfoque prometedor para el modelado de sistemas de producción y han sido empleadas para la planificación de procesos de ensamblado (Moore, Gungor & Gupta 1998)(Moore y Gupta 1996 en (Moore, Gungor & Gupta 2001). También se ha dado una aplicación a las redes de Petri para encontrar una estrategia de recogida efectiva de teléfonos móviles en Australia que considere los costes e impactos medioambientales de forma simultánea (Hanafi, Kara & Kaebernick 2008).

La lógica borrosa ha sido aplicada muy poco con la excepción del trabajo de Hanafi, Jessica (Hanafi, Kara & Kaebernick 2008). De igual manera la Teoría de la Complejidad que es aplicada para el Análisis del ciclo de vida (LCA) y Diseño Consciente del medioambiente (ECD) (Matos, Hall 2007).

El Análisis de Envolvente de Datos (DEA) asume la homogeneidad en las unidades de tomas de decisión en términos de la naturaleza de las operaciones que desarrollan, la medida de su eficiencia, y las condiciones en las que opera. Haas, David

A. y Murphy, Frederic H. (Haas, Murphy 2003) comparan varios modelos que utilizan datos del análisis de envoltorio de datos de los canales de logística inversa municipales. Los resultados muestran que ninguno de los mecanismos de ajuste es superior al modelo CCR (Charnes, Cooper y Rhodes model) que no emplea ajustes.

Los métodos de simulación son unos de los más empleados para el estudio de las redes de GSCM y como herramientas de apoyo a la toma de decisiones (Guide, Srivastava & Spencer 1996), (Ashayeri et al. 1996)(Linton, Johnston 2000)(Teunter, van der Laan & Inderfurth 2000)(Teunter, Vlachos 2002)(Haas, Murphy 2003)(Masui 2005), también se ha venido aplicando para investigar el efecto de las estrategias de ordenes de relajación en combinación con reglas de prioridad en un entorno de reprocesado por medio de sistemas MRP modificados (Guide, Srivastava 1997a)(Daniel, Guide 1997, Guide, Kraus & Srivastava 1997), para modelos dinámicos que sirven de herramienta de simulación experimental que puede ser utilizada para evaluar los efectos de los temas medioambientales en las decisiones a largo plazo de las actividades de recogida y reprocesado y en la demanda del producto (Georgiadis, Vlachos 2004)(Vlachos, Georgiadis & Iakovou 2007b), para un modelo de simulación de red de logística inversa para la recogida de productos al final de su vida útil en el área metropolitana de Sydney (Kara, Rugrungruang & Kaebernick 2007; Hanafi, Kara & Kaebernick 2008).

Se han realizado revisiones bibliográficas sobre el inventario reprocesable examinando varios modelos propuestos y clasificándolos según la solución metodológica aplicada (Guide, Srivastava 1997b).

Tipos de modelos de inventarios propuestos para la GSCM son:

- a) Modelos de simple escalón
  - 1. Determinísticos
  - 2. Estocásticos
- b) Modelo multi escalón
  - 1. Modelo METRIC
  - 2. Extensiones del METRIC (VARIMETRIC, MODMETRIC y DYNAMETRIC)

En ocasiones la simulación ha servido como base para formular y evaluar proposiciones para futuros análisis (Guide, Srivastava 1998) como las siguientes.

Proposición 1. Los administradores prefieren utilizar buffers de desensamblado cuando los niveles de utilización de las instalaciones son elevados, ya que este tipo de buffer es más efectivo para prevenir bajos tiempos de flujo y retardos. Los administradores también prefieren buffers de desensamblado cuando no hay partes realizadas antes de que comiencen las operaciones de procesado. Este tipo de retraso de buffer puede minimizar parte de los tiempos ociosos en el área de reprocesado y minimizar la congestión en la planta. (No se sostiene).

Proposición 2. El interés de los administradores por la mejora de las medidas puede influir en la elección de mecanismos de relajación del desensamblado y dictar la localización de un buffer de retraso. (Se sostiene).

Proposición 3. Los administradores prefieren el uso de mecanismos de relajación del desensamblado y retraso de buffers para controlar números de serie específicos y partes comunes con respecto a la predictibilidad de flujos de tiempo, minimización de retrasos y maximización de re ensamblado sencillo. (Se sostiene parcialmente).

Proposición 4. Un retraso de buffer en el re ensamblado es preferido por los administradores para hacer más rápido y simple la tasa de re ensamblado de números de serie específicos y partes comunes. Este tipo de buffer retardado puede ser preferido por los administradores que quieren minimizar el retardo antes de que las partes se necesiten en las operaciones de proceso o administradores que quieren maximizar la mejora de tiempos. (Se sostiene).

Hipótesis: Compartir información es beneficioso para todas las entidades de la cadena de suministro para reducir el efecto látigo y los inventarios (Kainuma, Tawara 2006). (Se sostiene).

Las aplicaciones que incorporan simulación han ido ganando creciente aceptación, el programa desarrollado en LOCOMOTIVE (Logistic Chain Multidimensional Design Toolbox with Environmental Assessment EP#8615) ofrece la capacidad de ayudar en la planificación, diseño y evaluación del ciclo de vida orientado hacia las estructuras logísticas. Además de los factores tradicionales como el coste, servicio al cliente y utilización, un módulo especial de la herramienta LOCOMOTIVE permite determinar explícitamente la valoración de los impactos medioambientales en las operaciones logísticas, también han sido desarrollados soluciones para problemas puramente técnicos como las tecnologías del

desensamblado (ej. NEUROBOT – Neural Network Based Robots for Disassembly and Recycling of Automotive Products EP#8338) (Hirsch, Kuhlmann & Schumacher 1998).

Los métodos algebraicos, que engloban la formulación de diversos modelos basándose en teorías existentes, también han sido ampliamente utilizados solos o en combinación con otras técnicas que se apoyan en el empleo de software (Miettinen, Hamalainen 1997),(Haastrup et al. 1998),(Klausner, Hendrickson 2000),(Swenseth, Godfrey 2002), (Savaskan, Bhattacharya & Van Wassenhove 2004), (Guide, Souza & van der Laan 2005) y (Mostard, Teunter 2006).

Abdelkader Sbihi y Richard W. Eglese (Sbihi, Eglese 2007) aplican métodos de programación dinámica y optimización combinatoria a la logística inversa para la gestión de residuos, establecimiento de rutas y programación.

Ahn Haeil (Ahn 2009) propone una aplicación de la teoría de juegos en la que simula la competencia entre dos empresas sobre la cantidad de un determinado producto del tipo contenedor rellenable (cartuchos de impresora, cámaras de un solo uso, cartuchos de tóner). La base de competencia fue la cantidad de producto obtenido no el precio.

Sameer Kumar y otros (Kumar, Dieveney & Dieveney 2009; 16) aplican la metodología DMAIC a la logística inversa del sector farmacéutico. El principal obstáculo que encontraron fue que el acceso a la información del sector es muy limitado debido a que es un entorno altamente competitivo.

Imoh Antai y Crispin M. Mulshinda (Antai, Mutshinda 2010; 22) proponen un modelo mediante dinámica Bayesiana que aplicado a la logística inversa de los medicamentos infiere cambios en la salud de la población.

Ip y otros (Ip, Chan & Lam 2011; 10) aplican una combinación entre dinámica de sistemas y el Modelo autorregresivo integrado de media móvil (ARIMA) para modelizar la cadena de suministro y verificar su estabilidad.

J. Mar-Ortiz y otros (Mar-Ortiz, Adenso-Díaz & González-Velarde 2011; 1) proponen un modelado mediante programación lineal para optimizar las rutas de la logística inversa asociada a la recogida de residuos de equipos eléctricos y electrónicos en la región de Galicia. Según el modelo adoptado se consiguió una reducción de costes del 29,2%.

Sofia Panagiotidou y otros (Panagiotidou, Nenes & Zikopoulos 2013) plantean un modelo para la optimización del muestreo y la toma de decisiones en un sistema de reprocesado con retornos estocásticos.

Venkatesh y otros (2013; 1) realizan un estudio para identificar los factores que más influyen en las operaciones de logística inversa de la industria de la destilería en la India y así localizar las áreas de mejora mediante la aplicación del Modelado Estructural Interpretativo (ISM).

Ghadge y otros (2013; 29) aplican la simulación mediante dinámica de sistemas para modelizar la influencia del riesgo en las cadenas de suministro.

Siguiendo en enfoque de sistemas indican que la gestión de riesgos de la cadena de suministro sigue un proceso de gestión del riesgo bastante tradicional, pero es impulsada por las interrelaciones sistémicas por lo que hay que centrarse en la identificación y reducción de riesgos no sólo a nivel de organización, sino de toda la cadena de suministro.

#### **4.2.3. Proporcionar evidencias**

Una de las primeras aportaciones al estudio de la GSCM es la revisión y clasificación de los modelos de logística inversa que realizan Fleischmann, Moritz, Bloemhof-Ruwaard, Jacqueline M., Dekker, Rommert, van der Laan, Erwin (Fleischmann et al. 1997) en donde los modelos se dividen según las áreas de aplicación en modelos de planificación de la distribución, control de inventarios y planificación de la producción.

El trabajo de Rogers, D. y Tibben-Lembke, R.S. (Rogers, Tibben-Lembke 1999) ha sido uno de los textos más citados de la última década. Este proyecto intenta definir el estado del arte en logística inversa y determinar las tendencias y mejores prácticas. El equipo de investigación entrevistó a 150 directivos con responsabilidades en el área de logística inversa.

En el estudio se identificaron las Actividades comunes de la Logística Inversa que se recogen en la tabla 4-9.

Tabla 4-9. Actividades de la logística inversa

| Material    | Actividades de Logística inversa                                                                                                                                                                          |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Productos   | Retornos al suministrador<br>Reventa<br>Ventas vía externalización<br>Recuperación<br>Reacondicionamiento<br>Restauración<br>Reprocesado<br>Recuperación de materiales<br>Reciclado<br>Vertedero/Basurero |
| Empaquetado | Reutilización<br>Reacondicionamiento<br>Recuperación de materiales<br>Reciclado<br>Recuperación                                                                                                           |

Fuente (Rogers, Tibben-Lembke 1999)

También realizaron un listado de los beneficios que proporciona un centro de recogida centralizado(Rogers, Tibben-Lembke 1999):

1. Procedimientos de almacenaje simplificados
2. Mejora de las relaciones con los suministradores
3. Mejor control de los inventarios retornados
4. Mejora de las rotaciones de inventarios
5. Reducción de costes administrativos
6. Reducción del nivel de costes de almacenamiento
7. Reducción de las mermas
8. Reenfoque en las competencias centrales del detallista
9. Reducción del material enviado a vertedero.
10. Mejora de la información para la gestión.

La revisión identifica los siguientes aspectos a desarrollar en el futuro (Rogers, Tibben-Lembke 1999):

### **Estandarización de procesos.**

Hay un gran vacío de estandarización dentro de las organizaciones lo que dificulta la comunicación y la gestión de la logística inversa.

Buenos procesos de logística inversa comienzan con una simplificación de las políticas y procedimientos de retorno en la tienda del detallista. Estas simplificaciones se traducen en una serie de horas dedicadas al procesado de retornos.

Muchas compañías han descubierto que uno de los mayores beneficios de la certificación ISO 9000 de sus cadenas directas se deriva de la estandarización de todos sus procesos. Aunque muchas empresas pueden elegir no certificar según ISO sus procesos de logística inversa sí que pueden aprovecharse de los beneficios de la estandarización.

### **Centros de retorno centralizados.**

A parte de los beneficios antes citados los trabajadores de los centros de recogida centralizados (CRC) tratan con un volumen de productos muy alto por lo que el grado de experiencia que pueden adquirir para diversos tipos de productos puede ser elevado lo cual es beneficioso para la empresa. Otro de los aspectos que favorece esta especialización es que los trabajadores solamente procesan productos retornados lo que además fortalece el que los beneficios no solamente sean debidos a la separación física de las instalaciones de la cadena directa e inversa, sino a la separación del control.

### **Third Parties**

Una de las mayores tendencias de los años 80 y 90 ha sido el reconocimiento de la logística como un campo por derecho propio. Cuando las empresas han analizado sus competencias internas se han dado cuenta de que hay actividades para las que no cuentan con la suficiente experiencia o habilidades. En el futuro muchas empresas pueden determinar que la logística inversa cae en la categoría de actividades que es mejor externalizar.



## **Mercados secundarios**

En el futuro las empresas pueden encontrarse trabajando mucho más cerca con sus socios en mercados secundarios. El paradigma de la logística actual de mover el material terminado en las plantas hacia los centros de distribución y de allí a las tiendas de los detallistas puede expandirse para incluir el paso del inventario hacia los mercados secundarios.

### **Mercados secundarios basados en la Web.**

La web proporciona un enlace directo con los consumidores que al eliminar los distintos pasos intermedios hace que la cadena de suministro sea más eficiente que los canales típicos. Esta eficiencia puede ser muy útil cuando se trata de vender productos que han entrado en el flujo de la logística inversa. Fenómenos como eBay dan buena muestra de ello.

### **Cero retornos**

En los programas cero retornos los productores no vuelven a tomar posesión de sus productos una vez que éstos han sido vendidos. Los detallistas toman la responsabilidad de disponer los productos de acuerdo con las especificaciones del fabricante. En los retornos el detallista recibe una paga para intentar reembolsarse el coste por retornar el ítem y por la disposición del producto.

Ritchie,Liz, Burnes,Bernard, Whittle,Paul y Hey,Richard (Ritchie et al. 2000) realizan un estudio para evidenciar los beneficios de la aplicación de la logística inversa al Manchester Royal Infirmary Pharmacy.

Rao,Purba (2002) realiza una investigación empírica para responder a tres cuestiones relacionadas con las empresas del Sureste Asiático:

1. Qué clase de iniciativas medioambientales son tomadas por las empresas que encabezan la certificación ISO 14000 para mejorar su desarrollo medioambiental.
2. Qué características están empleando para ayudar a sus suministradores a hacerse medioambientalmente respetuosos
3. Estimar si hay algún vínculo significativo entre la gestión de la cadena de suministro inversa implementada en las empresas que encabezan la

certificación y la competitividad, el desarrollo medioambiental y todo tipo de desarrollo económico.

Del estudio se desprende que todavía hay mucho trabajo por hacer. Posteriormente se realiza un trabajo donde se presenta la primera evaluación empírica que relaciona las prácticas de la gestión de la cadena de suministro y la competitividad con el desarrollo económico en de un grupo de empresas del Sureste Asiático (Rao, Holt 2005).

Baumann,H., Boons,F. y Bragd,A.(2002) realizan una revisión bibliográfica en la que concluyen que en relación a la GSCM:

1. Hay demasiadas sugerencias normativas con poca relevancia práctica.
2. Hay demasiados desarrollos de herramientas
3. Hay pocos vínculos entre las decisiones estratégicas y prácticas.
4. Hay poco sobre el desarrollo completo del producto
5. Hay poco reconocimiento de las perspectivas de los sistemas en el desarrollo de políticas.

Se han llevado a cabo estudios empíricos realizando una encuesta ha personal sénior en el área de logística y marketing de la industria de componentes y recambios para la automoción en Estados Unidos (Daugherty et al. 2003). En este trabajo se estudian dos aspectos en la orientación a las relaciones como son: la confianza y el compromiso encontrando que son cruciales para el desarrollo efectivo de los programas de logística inversa

El grupo chino Guitang dedicado a la explotación de la caña de azúcar ha iniciado un programa para la integración y mejora medioambiental de sus cadenas de suministros. Durante el proceso el grupo se ha encontrado con tres desafíos principales (Zhu, Cote 2004):

1. Mantener relaciones cercanas con sus principales suministradores, los agricultores de caña de azúcar.
2. Mejorar la cuota de mercado mejorando la calidad del producto y reduciendo costes.
3. Asegurar la sostenibilidad de estas oportunidades incluyendo una reducción de impactos medioambientales.

Según la literatura existente en ecología industrial el grupo puede ser considerado como un embrión de eco-parque industrial.

Zhu, Qinghua, Sarkis, Joseph y Geng, Yong (Zhu, Sarkis & Geng 2005) realizan una investigación empírica sobre un grupo de empresas chinas y formulan una serie de proposiciones para su comprobación. Los resultados del estudio muestran lo siguiente:

Proposición 1. Las empresas Chinas están sintiendo una importante presión para introducir los principios y prácticas de la gestión de la cadena de suministro inversa y esas presiones emergen de una gran variedad de fuentes. (Se sostiene.)

Proposición 2. Las empresas Chinas están en los inicios de la adopción de las prácticas de la gestión de la cadena de suministro inversa. (Se sostiene parcialmente, no se soporta para la adopción de las prácticas externas de la gestión de la cadena de suministro inversa).

Proposición 3. La adopción de las prácticas de la gestión de la cadena de suministro inversa por parte de las empresas Chinas se debe a las presiones que han experimentado. (Se sostiene).

Proposición 4. La adopción de las prácticas de la gestión de la cadena de suministro inversa por parte de las Chinas ha mejorado su desarrollo organizacional y medioambiental. (Se sostiene parcialmente, si mejora aspectos organizacionales y medioambientales, pero no se soporta para factores de desarrollo económico).

Los resultados sugieren que puede existir un retraso entre la presión que sienten las organizaciones Chinas y las empresas productoras y la adopción de las prácticas de la GSCM. Las empresas chinas todavía se encuentran en los comienzos del aprendizaje e implantación de programas y prácticas medioambientales.

Aplicando técnicas de simulación se ha estudiado como el ciclo de vida y los patrones de retorno de varios productos afectan a las políticas óptimas de expansión y contracción de las capacidades de recogida y reprocesado (Georgiadis, Vlachos & Tagaras 2006).

Srivastava, Samir K (2007) realiza una revisión bibliográfica muy completa en la que se hace una primera clasificación que relaciona los temas de estudio de la GSCM con el tipo de técnica de análisis empleada. De la revisión se desprende que la india es el cuarto mayor país en términos de paridad de poder adquisitivo (Purchasing

Power Parity PPP) y constituye uno de los mercados de mayor crecimiento del mundo. Sin embargo, la logística inversa todavía ha recibido la atención deseada y es llevada a cabo en algunos sectores como el del papel y el aluminio. En el contexto de la India las leyes medioambientales al estilo de las Europeas o Norteamericanas son virtualmente inexistentes (Srivastava 2004 en (Srivastava, Srivastava 2006a)).

Quak,H.J. y de Koster,M.B.M.(Quak, de Koster 2007) estudian en efecto de las ventanas de restricción de acceso temporal que se han implementado en muchos municipios para mejorar el desarrollo social sostenible actuando sobre la reducción del ruido, el impacto visual y las molestias a los ciudadanos. Aunque todos los casos estudiados son en Alemania los resultados son válidos para el resto de los países del Oeste de Europa. El estudio muestra que las ventanas de acceso temporal incrementan la cantidad global de emisiones de CO<sub>2</sub> y locales de PM10, NO<sub>x</sub> y CO. Las ventanas de acceso temporal causan además incrementos en los costes de distribución de los minoristas.

En la revisión bibliográfica que presentan Linton,Jonathan D.,Klassen,Robert, y Jayaraman,Vaidyanathan (Linton, Klassen & Jayaraman 2007) se evidencia que enfoque de la gestión y las operaciones medioambientales se está desplazando desde la optimización local de los factores medioambientales hacia la consideración de la cadena de suministro completa desde la producción, consumo, servicio al cliente y disposición final de los productos esto también ha sido detectado en trabajos posteriores (Seuring, Müller 2008, Brodin, Anderson 2008, Li, Olorunniwo 2008).

Alfonso Sarmiento y otros (Sarmiento, Rabelo & Jones 2011; 1) proponen un modelo de dinámica de sistemas para simular una red de logística inversa. La elección de la dinámica de sistemas se justifica debido a que captura relaciones complejas, procesos de realimentación, y los múltiples retardos de tiempo necesarios para seguir la evolución de las principales variables del sistema.

J-M Chen y C-I Chang (2012a) desarrollan un modelo analítico que simula el comportamiento de una cadena de suministro de ciclo cerrado con la particularidad de que los productos reprocesados se venden a un precio distinto al producto recién fabricado. Entre los resultados obtenidos destaca el hecho de que el tamaño de lote de producción puede tener un impacto equiparable al del precio de venta.

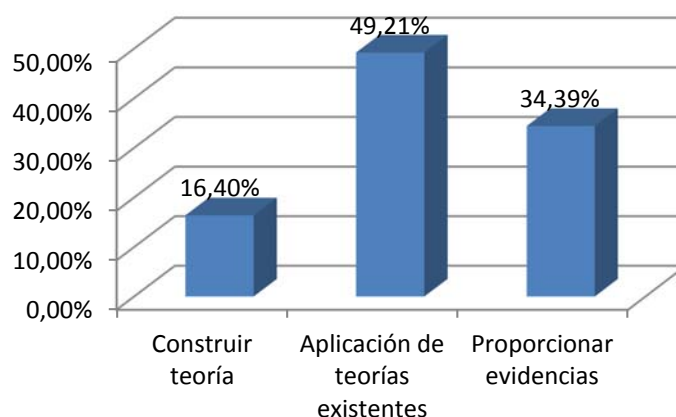
Soo Wook (2012; 23) elabora un modelo de simulación mediante dinámica de sistemas para identificar la naturaleza de las relaciones de realimentación entre el

desarrollo de las tecnologías de la información , las relaciones comprador-suministrador y la estructura de la cadena de suministro así como también identificar si existe o no un efecto significativo del nivel de personalización del producto para con las citadas relaciones de realimentación.

#### 4.2.4. Conclusiones del capítulo

Como puede verse en la gráfica 4-3 la mayor parte de los trabajos están orientados hacia la “Aplicación de teorías existentes” a la GSCM (49,21%) ,mientras que “Proporcionar evidencias” ocupa el segundo lugar (34,39 %).

Gráfica 4-3 Porcentaje de artículos según el propósito de la investigación.

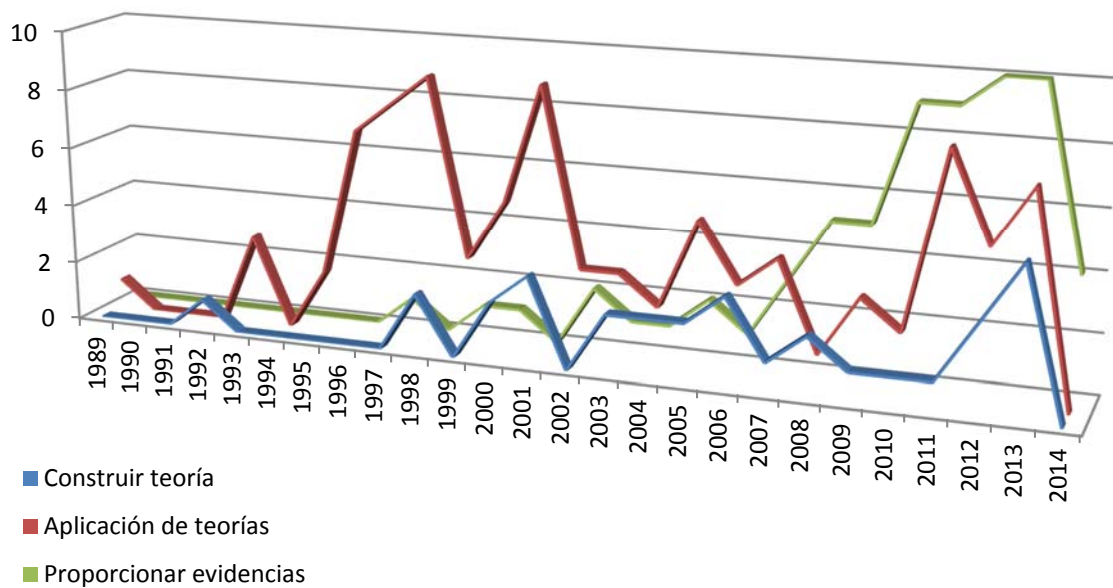


Elaboración propia.

Si organizamos los trabajos según el año y el objeto de la investigación podemos observar que en la tendencia de los trabajos orientados hacia “Construir teoría” es creciente, de igual forma que los que tienen por objeto “Proporcionar evidencias”, si bien la mayor producción en este tipo de artículos se ha producido en los últimos años, mientras que la “Aplicación de teorías existentes” tiende a estabilizarse tras un periodo de gran producción.

Esto muestra que en el área existe interés más o menos estable en el desarrollo de teoría mientras que hay una mayor tendencia hacia la aplicación de teorías existentes y en obtener medidas de campo que ayuden a verificar las teorías y a medir el grado de implementación de las técnicas de la GSCM.

Gráfica 4-4 Evolución de artículos según el propósito de la investigación.



Elaboración propia.

### 4.3. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL TIPO DE TRABAJO

Se presenta a continuación la tabla resumen 4-10 se agrupan los artículos según su tipo.

Tabla 4-10 Clasificación artículos según el tipo.

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Investigación empírica</b> | (Pohlen, Farris 1992)(Ritchie et al. 2000)(Chinander 2001)(Klassen 2001)(Rao 2002)(Daugherty et al. 2003)(Zhu, Cote 2004)(Zhu, Sarkis & Geng 2005)(Rao, Holt 2005)(Vachon, Klassen 2006)(Kocabasoglu, Prahinski & Klassen 2007)(Matos, Hall 2007)(Quak, de Koster 2007)(Brodin, Anderson 2008)(Li, Olorunniwo 2008)(Foster et al. 2014; 1)(Aitken, Harrison 2013; 17)(John et al. 2013; 1)(Laosirihongthong, Adebajo & Choon Tan 2013; 23)(Gobbi 2011; 6)(Kapetanopoulou, Tagaras 2009)(Gupta,V. , Abidi, Naseem 2013)(Demajorovic et al. 2012; 1)(Mihi-Ramírez, Arias-Aranda & García-Morales 2012; 1)(Jack, Powers & Skinner 2010; 20)(Vasilu, Dobrea 2012; 1)(Rose, Stevels & Ishii 2000)(Shi et al. 2012)(Lozada Rodríguez 2014; 1)(Kwateng et al. 2014; 1)(Vasudevan, Kalamkar & Terkar 2012; 1)(Oko, Nkamnebe 2013; 15)(Skapa, KlapalovĀj 2010; 26)(Sonya Hsu, Alexander & Zhu 2009; 24)(Erol et al. 2010; 26)(Huscroft 2010; 1)(Guzman-Siller 2009; 1)(Lee 2009; 1)(Abraham 2011; 10)(Srivastava 2008; 16)(J. Hall et al. 2013; 4)(Hamzaoui Essoussi, Linton 2010; 3) |
|                               | (Kelle, Silver 1989)(Caruso, Colorni & Paruccini 1993)(Crainic, Gendreau & Dejax 1993)(Gupta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Métodos analíticos y modelizado</b> | 1993)(Jayaraman, Srivastava 1995)(Kroon, Vrijens 1995)(Ashayeri et al. 1996)(Bloemhof-Ruwaard, Salomon & Van Wassenhove 1996)(Bloemhof-Ruwaard et al. 1996)(Guide, Srivastava & Spencer 1996)(Richter 1996)(van der Laan, Dekker & Salomon 1996)(van der Laan et al. 1996)(Daniel, Guide 1997)(Guide, Srivastava 1997a)(Guide, Srivastava 1997b)(Guide, Kraus & Srivastava 1997)(Miettinen, Hamalainen 1997)(van der Laan, Salomon 1997)(Guide, Srivastava 1997)(Guide, Srivastava 1997)(Sarkis 1998)(Haastrup et al. 1998)(Hirsch, Kuhlmann & Schumacher 1998)(Barros, Dekker & Scholten 1998)(Giannikos 1998)(Guide, Srivastava 1998)(Jayaraman, Srivastava & Benton 1998)(Marin, Pelegrin 1998)(Min, Jayaraman & Srivastava 1998)(Moore, Gungor & Gupta 1998)(Jayaraman, Guide & Srivastava 1999)(Richter, Dobos 1999)(van der Laan, Salomon & Dekker 1999)(Fleischmann et al. 2000)(Klausner, Hendrickson 2000)(Linton, Johnston 2000)(Richter, Sombrutzki 2000)(Teunter, van der Laan & Inderfurth 2000)(Fleischmann et al. 2001)(Ferrer 2001)(Ferrer, Whybark 2001)(Inderfurth, de Kok & Flapper 2001)(Kiesmuller, van der Laan 2001)(Majumder, Groenevelt 2001)(Minner 2001)(Richter, Weber 2001)(Moore, Gungor & Gupta 2001)(Fleischmann, Kuik & Dekker 2002)(Swenseth, Godfrey 2002)(Teunter, Vlachos 2002)(Sarkis 2003)(Jayaraman, Patterson & Rolland 2003)(Haas, Murphy 2003)(Kiesmuller, Scherer 2003)(Georgiadis, Vlachos 2004)(Hicks et al. 2004)(Savaskan, Bhattacharya & Van Wassenhove 2004)(Sheu, Chou & Hu 2005)(Listes, Dekker 2005)(Guide, Souza & van der Laan 2005)(Masui 2005)(Mourao, Amado 2005)(Mukhopadhyay, Setoputro 2005)(Nagurney, Toyasaki 2005)(Srivastava, Srivastava 2006a)(Kainuma, Tawara 2006)(Georgiadis, Vlachos & Tagaras 2006)(min, Ko & Ko 2006)(Mostard, Teunter 2006)(Kara, Rugrungruang & Kaebnick 2007)(Vlachos, Georgiadis & Iakovou 2007b)(Srivastava 2008)(Hanafi, Kara & Kaebnick 2008)(Lin 2012)(Chen, Chang 2012a)(Ghadge et al. 2013; 29)(Ip, Chan & Lam 2011; 10)(Ahn 2009)(Ovchinnikov 2011)(Chen, Chang 2012b)(Ordoobadi 2009; 7)(Ding, Glazebrook 2013)(Toktay, L. Beril, Wei, Donna 2011)(Benedito, Corominas 2011; 1)(Xanthopoulos, Vlachos & Iakovou 2011)(Panagiotidou, Nenes & Zikopoulos 2013)(Wook Kim 2012; 23)(Sarmiento, Rabelo & Jones 2011; 1)(Zhang, Zhang & Liu 2012; 17)(Madaan, Wadhwa 2010; 1)(Sbihi, Eglese 2007)(Sophie Bernard 2010)(V et al. 2013; 1)(Liu 2013)(Antai, Mutshinda 2010; 22)(Kumar, Dieveney & Dieveney 2009; 16)(Hernández 2011)(De Giovanni 2014)(Mar-Ortiz, Adenso-Diaz & GonzÁlez-Velarde 2011; 1)(Turrisi, Bruccoleri & Cannella 2013; 2)(Hosseinizadeh 2012; 1)(Quintana et al. 2013; 1)(Gurnani, Sharma & Grewal 2010)(Paksoy, Ą-zceylan & Weber 2011; 1)(Vahdani, Razmi & Tavakkoli-Moghaddam 2012)(Nakashima, Loomba 2013; 2)(Qiaolun 2009; 1)(Krapp, Nebel & Sahamie 2013; 30) |
| <b>Encuestas y Revisiones</b>          | (Fleischmann et al. 1997)(Carter, Ellram 1998)(Rogers, Tibben-Lembke 1999)(Baumann, Boons & Bragd 2002)(Murphy, Poist 2003)(Zhu, Sarkis 2004)(Prahinski, Kocabasoglu 2006)(Srivastava 2007)(Linton, Klassen & Jayaraman 2007)(Zhu, Sarkis & Lai 2008)(Seuring, Müller 2008)(Mann et al. 2010; 1)(Yang, Wei. Zeng Yongzhi, Wu Yue 2011)(Lindskog 2012)(Choi, Wacker 2011)(Nnorom, Osibanjo 2010; 1)(Guide, Van Wassenhove 2009; 1)(Souza 2008)(Huscroft 2010; 1)(Haji 2012)(Kapetanopoulou, Tagaras 2011; 8)(Gupta, Abidi & Bandyopadhyay 2013)(Kumar 2012)(Norhana Muslan, Abu Bakar Abd Hamid, Helen Tan and Halimah Idris 2013)(Sharma 2013; 1)(Bernon, Rossi & Cullen 2011; 14)(R. Huscroft et al. 2013; 1)(Tonape, Owk 2013; 1)(Bell, Mollenkopf & Stolze 2013; 7)(Bajdor, Grabara 2011)(Hazen, Hall & Hanna 2012; 13)(Freires 2013; 1)(Wright et al. 2011; 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

Elaboración propia.

Con esta clasificación se pretende verificar cual ha sido el enfoque seguido en la investigación. Se han propuesto las siguientes categorías:

### ***Investigación empírica***

En esta categoría se agrupan los trabajos en los que se evalúan y obtienen datos de campo.

### ***Métodos analíticos y modelizado***

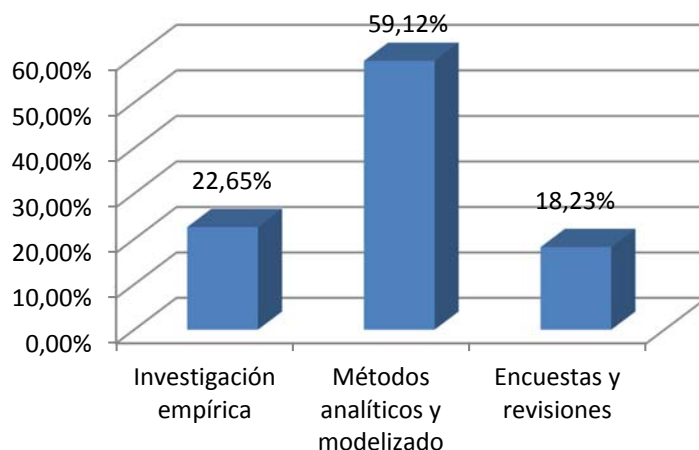
Se consideran en este grupo todos los trabajos en los que se han desarrollado modelos matemáticos para el estudio.

### ***Encuestas y Revisiones***

Por último se recogen en esta categoría los trabajos que revisan los contenidos del paradigma y se obtienen datos a través de encuestas.

A modo de resumen puede verse en la gráfica 4-5 la mayor parte de los trabajos están orientados hacia los “Métodos analíticos y modelizado” (59,12%), mientras que la “Investigación Empírica” ocupa el segundo lugar (22,65%). El resto de los trabajos son revisiones bibliográficas y encuestas (18,23%).

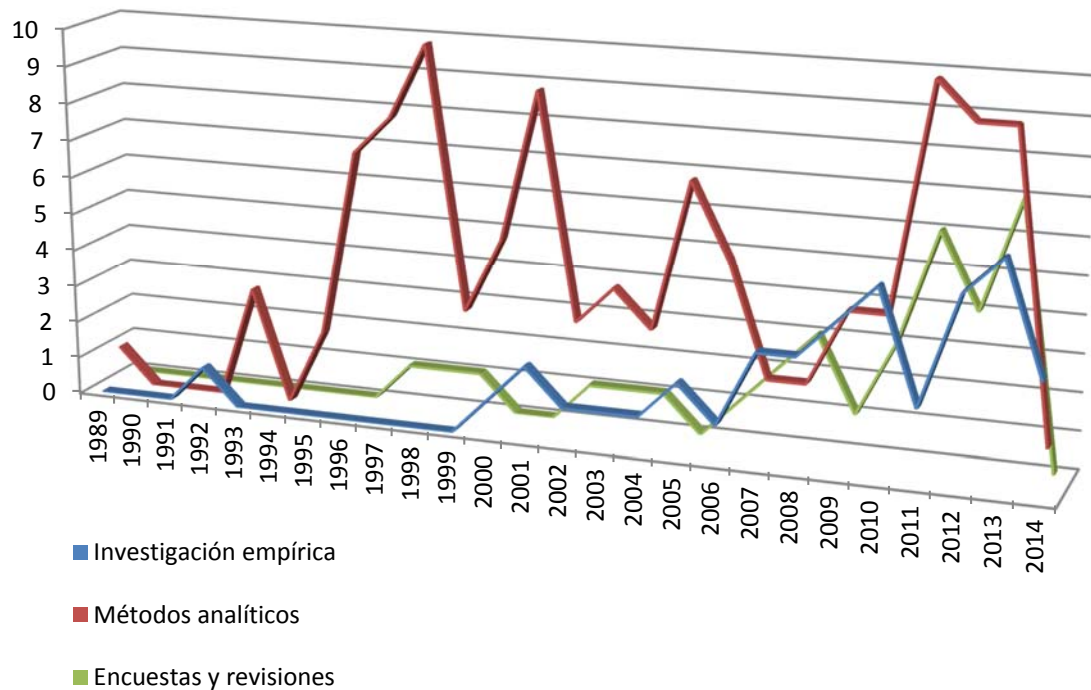
Gráfica 4-5. Porcentaje de artículos según el tipo.



Si organizamos los trabajos según el año y el tipo podemos observar que en la tendencia de los trabajos orientados hacia la “Investigación empírica” y hacia la producción de “Encuestas y revisiones” es creciente, mientras que los “Métodos analíticos y modelizado” tienden a estabilizarse tras un periodo de gran producción. Esto muestra que en el área existe un gran interés en obtener medidas de campo y realizar trabajos empíricos.



Gráfica 4-6 Evolución de artículos según el tipo.



Elaboración propia.

#### 4.4. CLASIFICACIÓN SEGÚN LAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS Y EL ORIGEN DE LOS MISMOS.

Las técnicas de análisis de datos que se han venido aplicando a la Gestión de la Cadena de Suministro Inversa para la formulación de los problemas son muy variadas por ello para que la clasificación no sea demasiado extensa se han establecido las siguientes categorías:

- Técnicas Algebraicas
- Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) / Proceso Analítico en Redes (ANP)
- Programas de computador
- Estadística descriptiva/ANOVA
- Análisis de Envolvente de Datos (DEA)
- Programación Dinámica

- Lógica Borrosa / Lógica Borrosa y Redes Neuronales (Neuro-Fuzzy)
- Teoría de Juegos
- Métodos Heurísticos
- Programación Lineal (LP) y Programación Lineal Entera Mixta (MILP)
- Cadenas de Markov y Teoría de Colas
- Algoritmos Meta heurísticos (Algoritmos Genéticos, Búsqueda Tabú, Temple simulado...)
- Programación no lineal
- Red de Petri
- Regresión/Ecuaciones Estructurales
- Escenarios / Análisis de Sensibilidad
- Simulación
- Software y Hojas de Cálculo
- Análisis cualitativo
- Teoría de la complejidad

Se ha tenido en cuenta que en un mismo artículo pueden utilizarse varias de estas técnicas, por ello la unidad que se utilizará en esta clasificación será la “aplicación” de una determinada técnica y no el “artículo”.

Se han propuesto cinco categorías: datos cualitativos o panel de estudio, casos de estudio, estudio de campo, bases de datos/datos archivados, generados en laboratorio y los obtenidos a partir de encuestas y cuestionarios.

#### ***Datos cualitativos o panel de expertos.***

Se agrupan en esta categoría los artículos en los que los datos se han obtenido a través de entrevistas, experiencias o la utilización de un grupo de expertos para obtener información sobre un determinado tema. Un ejemplo de panel de estudio sería la obtención de datos utilizando el método Delphi.

#### ***Casos de estudio.***

El enfoque de los casos de estudio consiste en recolectar datos de una o varias organizaciones durante periodos de tiempo más o menos largos. Los datos obtenidos en los casos de estudio a menudo contienen componentes cualitativas y cuantitativas y respuestas no sólo individuales sino de grupos de trabajos o departamentos.

### ***Bases de datos o datos archivados***

A veces no es posible obtener datos de campo o de casos de estudio por diversas razones como coste, tiempo u otras limitaciones. En tales casos los investigadores a menudo utilizan datos archivados. Este enfoque implica recopilar datos de diversas fuentes de información disponibles como bases de datos gubernamentales, informes financieros, informes de consumidores...

Marshall Fisher en el año 2005 en la conferencia de la Sociedad de Dirección de la Producción y Operaciones recomendó este enfoque citando muchos ejemplos de otras disciplinas como la medicina, ingeniería y finanzas en donde se muestra la utilidad de trabajar con colecciones de datos archivados (Gupta, Verma & Victorino 2006).

### ***Generados en laboratorio***

Algunos temas de investigación no pueden ser abordados a través de datos archivados o casos de estudio por lo que los investigadores a menudo generan los datos en el laboratorio en donde los experimentos se realizan en entornos controlados. Los experimentos de laboratorio también suelen utilizarse para identificar relaciones causales.

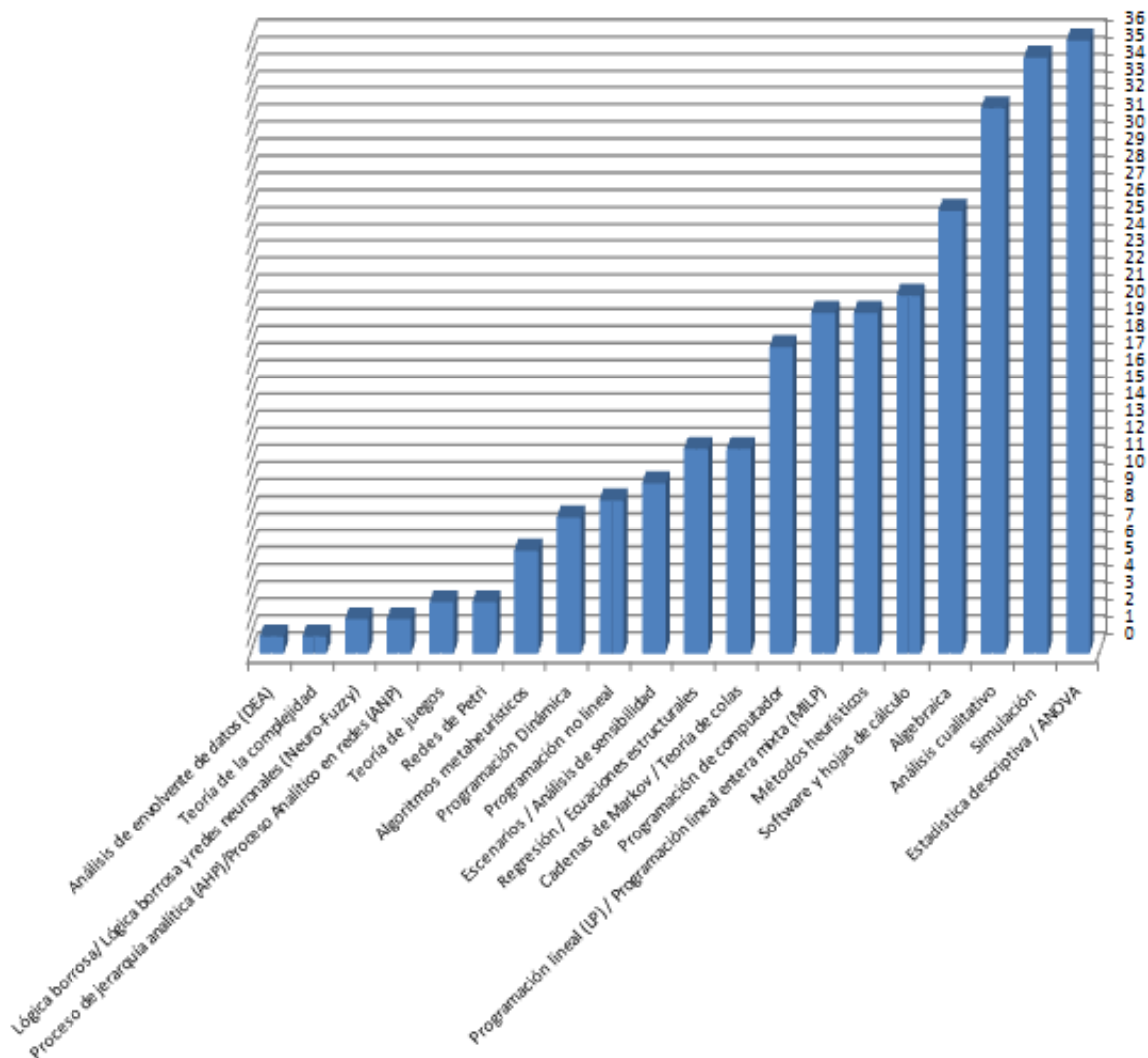
Las aplicaciones de la investigación de laboratorio en la disciplina de Dirección de Operaciones es escasa comparada con otras disciplinas de las ciencias sociales como el comportamiento organizacional quizás debido a la complejidad que rodea las operaciones reales o quizás por tradición (Gupta, Verma & Victorino 2006).

### ***Encuestas y cuestionarios***

Datos obtenidos a través de encuestas en sus diversos formatos usando correo electrónico, teléfono o internet así como también datos procedentes de cuestionarios estructurados.

Si atendemos a la clasificación de los trabajos según la metodología de análisis de datos empleada (ver gráfica 4-7) observamos que las 5 técnicas mayoritariamente empleadas son la estadística descriptiva/ANOVA, la simulación, el análisis cualitativo, la formulación algebraica y las hojas de cálculo.

Gráfica 4-7 Número de artículos según la técnica empleada.

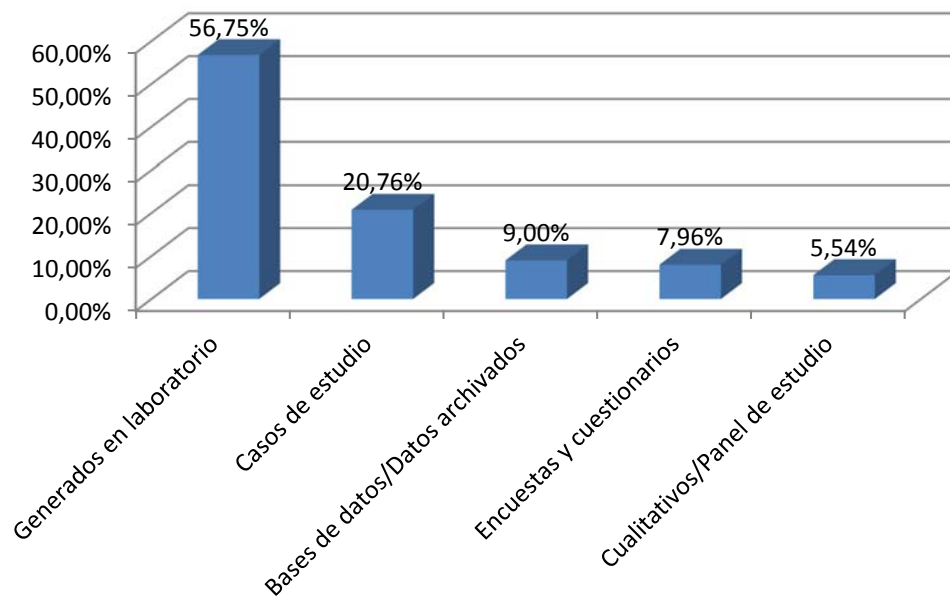


Elaboración propia.

Puede deducirse por tanto que para estudiar los temas que conforman la GrSCM existe una fuerte tendencia hacia la modelización matemática amparada en el análisis asistido por ordenador.

En el gráfico 4-8 vemos cuantos trabajos han aplicado cada tipo de datos según su origen. Se puede comprobar que la tendencia general es hacia la generación de datos en laboratorio seguidos de lejos por los casos de estudio. Al tratarse de una disciplina relativamente joven no existen muchos datos de campo disponibles para el análisis y la confrontación por lo que los investigadores suelen recurrir a la generación de datos para testear los modelos matemáticos.

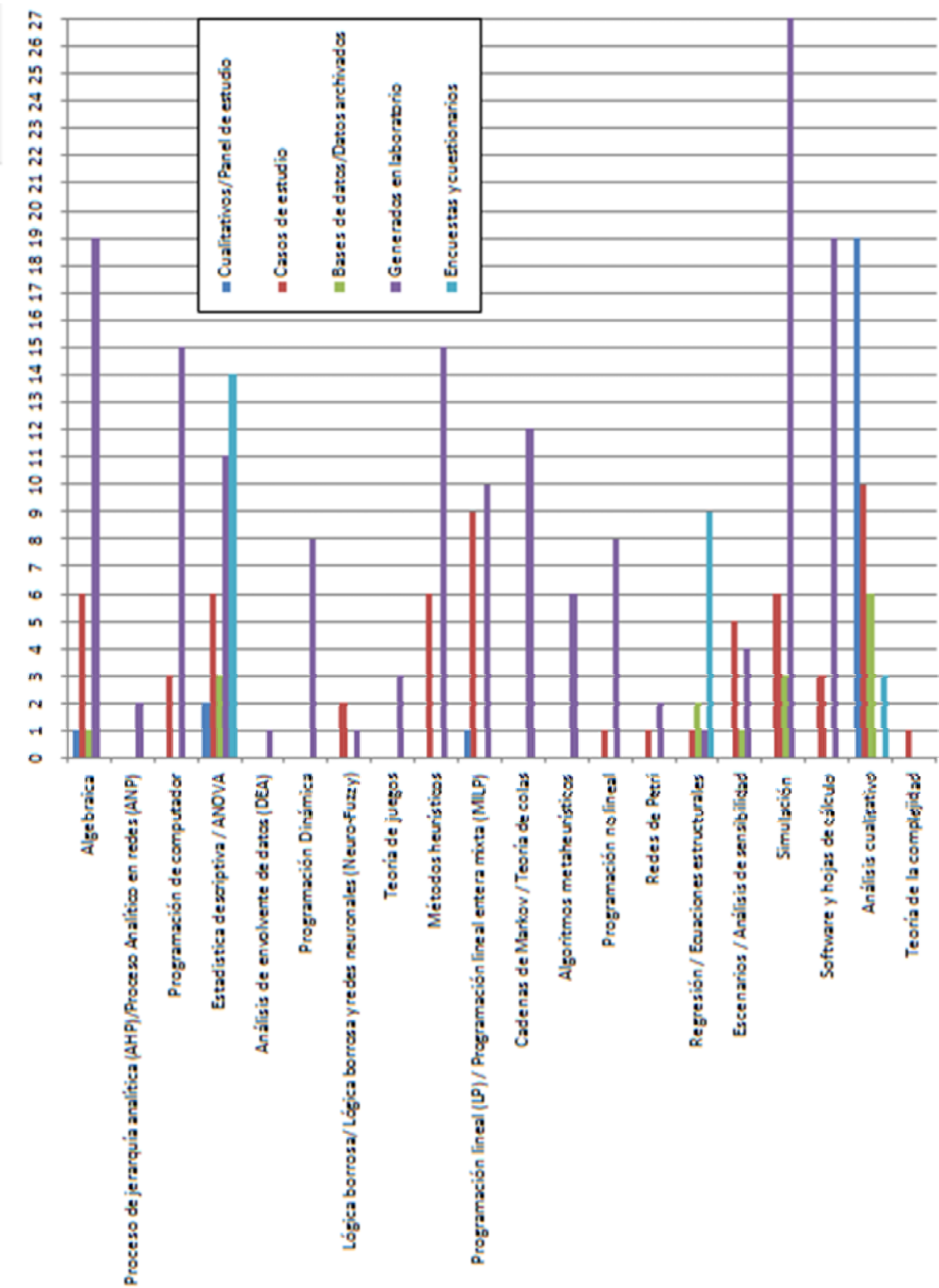
Gráfica 4-8 Porcentaje de artículos según el origen de los datos.



Elaboración propia.

En el gráfico 4-9 se muestra la aplicación de cada tipo de datos según la técnica de análisis de los mismos.

Gráfica 4-9 Numero de artículos según la técnica de análisis y el origen de los datos.



Elaboración propia.

A continuación en la tabla 4-10 se muestra la relación de trabajos que emplea cada tipo de técnica de análisis.

Tabla 4-11- Artículos según el tipo de metodología aplicada.

|                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Algebraica</b>                                                              | (Sophie Bernard 2010)(Miettinen, Hamalainen 1997)(Hicks et al. 2004)(Ashayeri et al. 1996)(Fleischmann, Kuik & Dekker 2002)(Guide, Srivastava 1997)(Guide, Srivastava 1998)(Kiesmuller, van der Laan 2001)(Klausner, Hendrickson 2000)(Richter, Dobos 1999)(Richter 1996)(Swenseth, Godfrey 2002)(Teunter, Vlachos 2002)(Teunter, van der Laan & Inderfurth 2000)(Ferrer 2001)(Guide, Srivastava 1997)(Guide, Kraus & Srivastava 1997)(Savaskan, Bhattacharya & Van Wassenhove 2004)(Liu 2013)(Ritchie et al. 2000)(Mostard, Teunter 2006)(Nagurney, Toyasaki 2005)(Richter, Dobos 1999)<br>(Chen, Chang 2012b)(Mukhopadhyay, Setoputro 2005)(van der Laan, Salomon 1997)(Gobbi 2011; 6)(Rose, Stevels & Ishii 2000)                                                                                          |
| <b>Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) / Proceso Analítico en Redes (ANP)</b> | (Sarkis 1998)(Sarkis 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Programas de computador</b>                                                 | (Moore, Gungor & Gupta 1998)(Moore, Gungor & Gupta 2001)(Spengler et al. 1997)(Guide, Srivastava 1998)(Guide, Srivastava 1997a)(Gupta 1993)(Inderfurth, de Kok & Flapper 2001)(Jayaraman, Srivastava & Benton 1998)(Kiesmuller, Scherer 2003)(Richter, Dobos 1999)(Fleischmann et al. 2000)(Daniel, Guide 1997)(Guide, Srivastava 1997)(Guide, Srivastava 1997a)(Guide, Srivastava & Spencer 1996)(Guide, Kraus & Srivastava 1997)(Inderfurth, de Kok & Flapper 2001)(Jayaraman, Srivastava & Benton 1998)(Jayaraman, Srivastava 1995)(Jayaraman, Guide & Srivastava 1999)(Nagurney, Toyasaki 2005)(Spengler et al. 1997)(Hastrup et al. 1998)                                                                                                                                                                |
| <b>Estadística descriptiva/ANOVA</b>                                           | (Rogers, Tibben-Lembke 1999)(Zhu, Sarkis & Geng 2005)(Murphy, Poist 2003)(Zhu, Sarkis & Lai 2008)(Seuring, Müller 2008)(Chinander 2001)(Kapetanopoulou, Tagaras 2011; 8)(Skapa, KlapalovĀ; 2010; 26)(R. Huscroft et al. 2013; 1)(Hamzaoui Essoussi, Linton 2010; 3)(John et al. 2013; 1)(Baumann, Boons & Bragd 2002)(Brodin, Anderson 2008)(Fleischmann et al. 2001)(Chinander 2001)(Nnorom, Osibanjo 2010; 1)(Vasudevan, Kalamkar & Terkar 2012; 1)(Guide, Srivastava 1998)(Guide, Srivastava 1997a)(Swenseth, Godfrey 2002)(Teunter, van der Laan & Inderfurth 2000)(Guzman-Siller 2009; 1)(Daniel, Guide 1997)(Guide, Srivastava 1997)(Guide, Souza & van der Laan 2005)(Guide, Srivastava 1997a)(Guide, Srivastava & Spencer 1996)(Guide, Kraus & Srivastava 1997)(Fleischmann et al. 2001)(Haas, Murphy |

|                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                           | 2003)(Huscroft 2010; 1)(Kapetanopoulou, Tagaras 2009)(Mihi-Ramírez, Arias-Aranda & García-Morales 2012; 1)(Oko, Nkamnebe 2013; 15)(Erol et al. 2010; 26)(Huscroft 2010; 1)(Abraham 2011; 10)(J. Hall et al. 2013; 4)(Kwateng et al. 2014; 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Análisis de Envolvente de Datos (DEA)</b>                              | (Haas, Murphy 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Programación Dinámica</b>                                              | (Inderfurth, van der Laan 2001)(Kiesmuller, Scherer 2003)(Inderfurth, de Kok & Flapper 2001)(Inderfurth, van der Laan 2001)(Kelle, Silver 1989)(Kiesmuller, Scherer 2003)(Richter, Sombutzki 2000)(Inderfurth, de Kok & Flapper 2001)(Richter, Sombutzki 2000)(Richter, Weber 2001)(Crainic, Gendreau & Dejax 1993)(Inderfurth, van der Laan 2001)(Kelle, Silver 1989)(Sbihi, Eglese 2007)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Lógica Borrosa / Lógica Borrosa y Redes Neuronales (Neuro-Fuzzy)</b>   | (Zhang, Zhang & Liu 2012; 17)(Hanafi, Kara & Kaebnick 2008)(Vahdani, Razmi & Tavakkoli-Moghaddam 2012)(Hanafi, Kara & Kaebnick 2008)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Teoría de Juegos</b>                                                   | (De Giovanni 2014)(Majumder, Groenevelt 2001)(Ahn 2009)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Métodos Heurísticos</b>                                                | (Bloemhof-Ruwaard et al. 1996)(Bloemhof-Ruwaard et al. 1996)(Bloemhof-Ruwaard et al. 1996)(Min, Jayaraman & Srivastava 1998)(Moore, Gungor & Gupta 2001)(Spengler et al. 1997)(Guide, Srivastava 1997)(Gupta 1993)(Inderfurth, van der Laan 2001)(Kiesmuller, Scherer 2003)(Moore, Gungor & Gupta 2001)(van der Laan et al. 1996)(Ferrer 2001)(Richter, Sombutzki 2000)(Richter, Weber 2001)(Jayaraman, Patterson & Rolland 2003)(Barros, Dekker & Scholten 1998)(Marin, Pelegrin 1998)(Mourao, Amado 2005)(Spengler et al. 1997)(Lee 2009; 1)(Bloemhof-Ruwaard, Salomon & Van Wassenhove 1996)(Caruso, Coloni & Paruccini 1993)                                                                                                                                |
| <b>Programación Lineal (LP) y Programación Lineal Entera Mixta (MILP)</b> | (Bloemhof-Ruwaard et al. 1996)(Bloemhof-Ruwaard et al. 1996)(Kroon, Vrijens 1995)(Jayaraman, Guide & Srivastava 1999)(Fleischmann et al. 2001)(Ferrer, Whybark 2001)(Spengler et al. 1997)(Kelle, Silver 1989)(Ferrer, Whybark 2001)(Sheu, Chou & Hu 2005)(Srivastava 2008)(Jayaraman, Patterson & Rolland 2003)(Listes, Dekker 2005)(Fleischmann et al. 2001)(Barros, Dekker & Scholten 1998)(Jayaraman, Srivastava 1995)(Jayaraman, Guide & Srivastava 1999)(Kelle, Silver 1989)(Gurnani, Sharma & Grewal 2010)(Paksoy, Ağaçtepe & Weber 2011; 1)(Bloemhof-Ruwaard, Salomon & Van Wassenhove 1996)(Bloemhof-Ruwaard et al. 1996)(Caruso, Coloni & Paruccini 1993)(Giannikos 1998)(Mar-Ortiz, Adenso-Díaz & González-Velarde 2011; 1)(Quintana et al. 2013; 1) |
| <b>Cadenas de Markov y Teoría</b>                                         | (Nakashima, Loomba 2013; 2)(Fleischmann, Kuik & Dekker 2002)(Gupta 1993)(Inderfurth, van der Laan 2001)(Kiesmuller, van der Laan 2001)(van der Laan, Salomon 1997)(van der Laan, Dekker                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |



|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>de Colas</b>                                                                                          | & Salomon 1996)(van der Laan et al. 1996)(van der Laan, Salomon & Dekker 1999)(Krapp, Nebel & Sahamie 2013; 30)(van der Laan, Salomon 1997)(Ding, Glazebrook 2013)(Benedito, Corominas 2011; 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Algoritmos Meta heurísticos<br/>(Algoritmos Genéticos,<br/>Búsqueda Tabú, Temple<br/>simulado...)</b> | (Inderfurth, van der Laan 2001)(Minner 2001)(Teunter, Vlachos 2002)(van der Laan, Salomon & Dekker 1999)(min, Ko & Ko 2006)(Hosseinzadeh 2012; 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Programación no lineal</b>                                                                            | (Guide, Srivastava 1997)(Jayaraman, Srivastava & Benton 1998)(Richter, Dobos 1999)(Richter 1996)(Jayaraman, Srivastava & Benton 1998)(Marin, Pelegrin 1998)(Chen, Chang 2012a)(Toktay, L. Beril, Wei, Donna 2011)(Lee 2009; 1)(Qiaolun 2009; 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Red de Petri</b>                                                                                      | (Moore, Gungor & Gupta 1998)(Moore, Gungor & Gupta 2001)(Hanafi, Kara & Kaebnick 2008)(Moore, Gungor & Gupta 1998)(Moore, Gungor & Gupta 2001)(Hanafi, Kara & Kaebnick 2008)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Regresión/Ecuaciones<br/>Estructurales</b>                                                            | (Rao 2002)(Vachon, Klassen 2006)(Kocabasoglu, Prahinski & Klassen 2007)(Zhu, Sarkis 2004)(Rao, Holt 2005)(Klassen 2001)(Laosirihongthong, Adebajo & Choon Tan 2013; 23)(Norhana Muslan, Abu Bakar Abd Hamid, Helen Tan and Halimah Idris 2013)(Klassen 2001)(Daugherty et al. 2003)(Haas, Murphy 2003)(Kumar 2012)(Jack, Powers & Skinner 2010; 20)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Escenarios / Análisis de<br/>Sensibilidad</b>                                                         | (Bloemhof-Ruwaard et al. 1996)(Bloemhof-Ruwaard et al. 1996)(Bloemhof-Ruwaard et al. 1996)(Klausner, Hendrickson 2000)(Linton, Johnston 2000)(Foster et al. 2014; 1)(Ovchinnikov 2011)(Srivastava 2008; 16)(van der Laan, Salomon 1997)(van der Laan, Salomon & Dekker 1999)(van der Laan, Salomon 1997)(Klausner, Hendrickson 2000)(Chen, Chang 2012a)(Quak, de Koster 2007)(Bloemhof-Ruwaard et al. 1996)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Simulación</b>                                                                                        | (Kainuma, Tawara 2006)(Antai, Mutshinda 2010; 22)(Georgiadis, Vlachos & Tagaras 2006)(Vlachos, Georgiadis & Iakovou 2007b)(Linton, Johnston 2000)(Ovchinnikov 2011)(Ashayeri et al. 1996)(Guide, Srivastava 1998)(Guide, Srivastava 1997a)(Teunter, Vlachos 2002)(Teunter, van der Laan & Inderfurth 2000)(Xanthopoulos, Vlachos & Iakovou 2011)(Vlachos, Georgiadis & Iakovou 2007b)(Daniel, Guide 1997)(Guide, Srivastava 1997)(Guide, Srivastava 1997a)(Guide, Srivastava 1997b)(Guide, Srivastava & Spencer 1996)(Guide, Kraus & Srivastava 1997)(Srivastava, Srivastava 2006a)(Georgiadis, Vlachos 2004)(Hirsch, Kuhlmann & Schumacher 1998)(Kara, Rugrungruang & Kaebnick 2007)(Hanafi, Kara & Kaebnick 2008)(Haas, Murphy 2003)(Teunter, Vlachos 2002)(Lin 2012)(Ghadge et al. 2013; 29)(Ip, Chan & Lam 2011; 10)(Panagiotidou, Nenes & Zikopoulos |

|                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    | 2013)(Wook Kim 2012; 23)(Sarmiento, Rabelo & Jones 2011; 1)(Madaan, Wadhwa 2010; 1)(V et al. 2013; 1)(Hernández 2011)(Turrissi, Bruccoleri & Cannella 2013; 2)(Hanafi, Kara & Kaebernick 2008)(Masui 2005)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Software y Hojas de Cálculo</b> | (Moore, Gungor & Gupta 1998)(Moore, Gungor & Gupta 2001)(Fleischmann, Kuik & Dekker 2002)(Guide, Srivastava 1997)(Guide, Srivastava 1998)(Guide, Srivastava 1997a)(Inderfurth, de Kok & Flapper 2001)(Inderfurth, van der Laan 2001)(Jayaraman, Srivastava & Benton 1998)(Teunter, van der Laan & Inderfurth 2000)(van der Laan, Salomon 1997)(van der Laan et al. 1996)(van der Laan, Salomon & Dekker 1999)(Daniel, Guide 1997)(Ferrer 2001)(Guide, Srivastava 1997)(Guide, Souza & van der Laan 2005)(Guide, Srivastava 1997a)(Guide, Kraus & Srivastava 1997)(Inderfurth, de Kok & Flapper 2001)(Barros, Dekker & Scholten 1998)(Haas, Murphy 2003)(Jayaraman, Srivastava 1995)(Jayaraman, Guide & Srivastava 1999)(Spengler et al. 1997)(van der Laan, Salomon 1997)                                                                                                                                       |
| <b>Análisis cualitativo</b>        | (Srivastava 2007)(Zhu, Cote 2004)(Prahinski, Kocabasoglu 2006)(Linton, Klassen & Jayaraman 2007)(Mann et al. 2010; 1)(Choi, Wacker 2011)(Guide, Van Wassenhove 2009; 1)(Haji 2012)(Gupta, V. , Abidi, Naseem 2013)(Gupta, Abidi & Bandyopadhyay 2013)(Sharma 2013; 1)(Bernon, Rossi & Cullen 2011; 14)(Tonape, Owk 2013; 1)(Bell, Mollenkopf & Stolze 2013; 7)(Bajdor, Grabara 2011)(Yang, Wei. Zeng Yongzhi, Wu Yue 2011)(John et al. 2013; 1)(Nnorom, Osibanjo 2010; 1)(Souza 2008)(Wright et al. 2011; 1)(Fleischmann et al. 1997)(Carter, Ellram 1998)(Li, Olorunniwo 2008)(Ritchie et al. 2000)(Pohlen, Farris 1992)(Lindskog 2012)(Aitken, Harrison 2013; 17)(Ordoobadi 2009; 7)(Vasiliu, Dobrea 2012; 1)(Kumar, Dieveney & Dieveney 2009; 16)(Shi et al. 2012)(Sonya Hsu, Alexander & Zhu 2009; 24)(Hazen, Hall & Hanna 2012; 13)(Freires 2013; 1)(Demajorovic et al. 2012; 1)(Lozada Rodríguez 2014; 1) |
| <b>Teoría de la complejidad</b>    | (Matos, Hall 2007)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Elaboración propia.

Para completar el análisis se han realizado las tablas de confrontación entre el tipo de técnica de análisis de datos y el tema de estudio de la GSCM y confrontación del tipo de técnica de análisis de datos y el origen de los datos. Estas tablas debido a su tamaño aparecen en un formato mayor al final del documento.

#### **4.5. CLASIFICACIÓN SEGÚN LA PROCEDENCIA DE LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN**

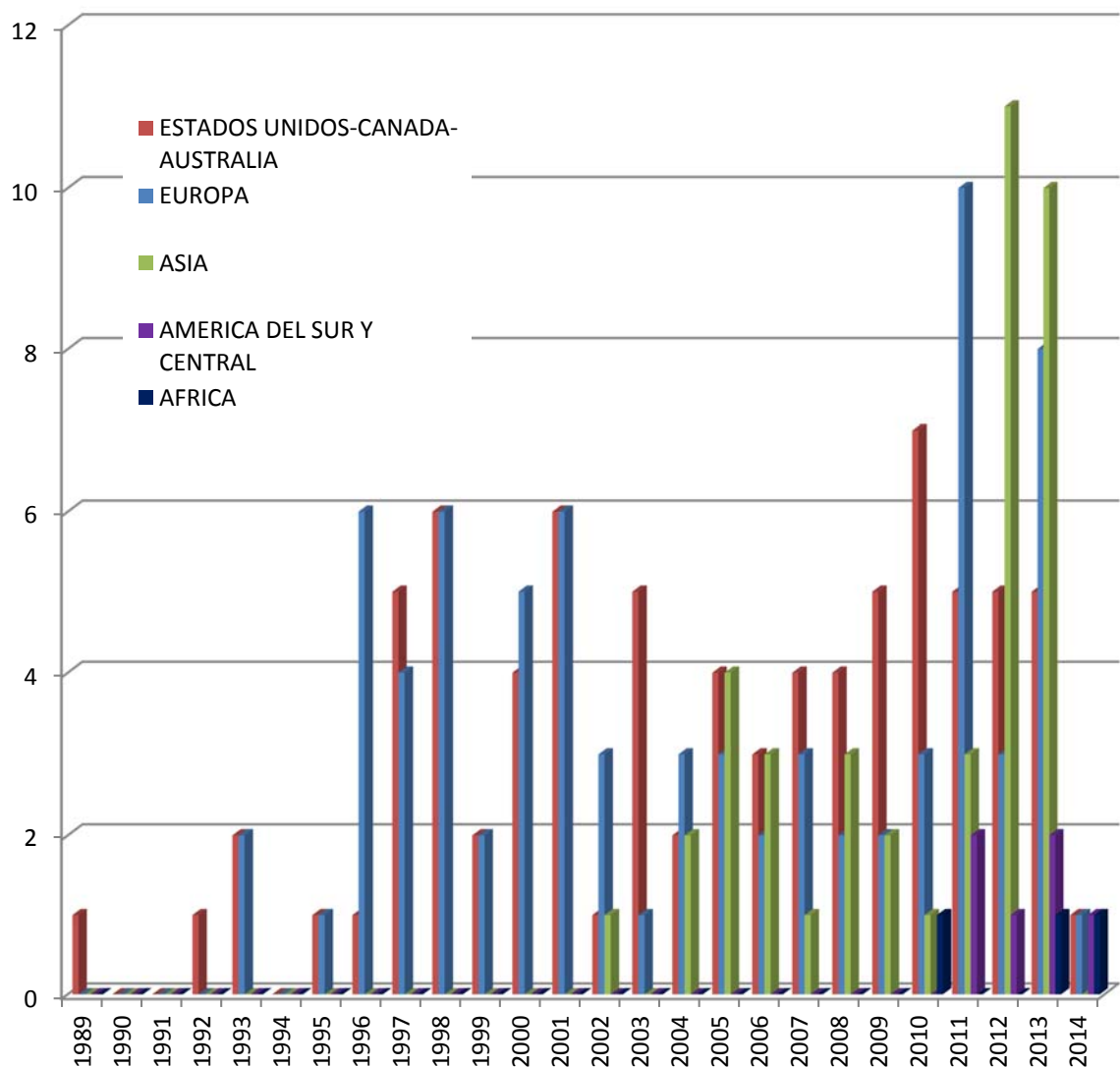
En esta sección se realiza una clasificación de los artículos revisados en función de la procedencia de los grupos de investigación (ver gráfica 4-10) y para ello se han establecido cinco categorías considerando que cada categoría engloba grupos con una determinada afinidad en cuanto a investigación se refiere:

- Estados Unidos-Canadá-Australia
- Europa
- Asia
- América del sur y central
- África

Los criterios seguidos han sido los siguientes:

- Para cada grupo se han clasificado los países según su peso en cuanto a número de artículos.
- Cuando en un mismo artículo han participado investigadores de distintos países o grupos se han dado un punto a cada uno.

Adicionalmente de incluyen los trabajos en los que han colaborado grupos de diversos países (ver tablas 4-11 y 4-12).



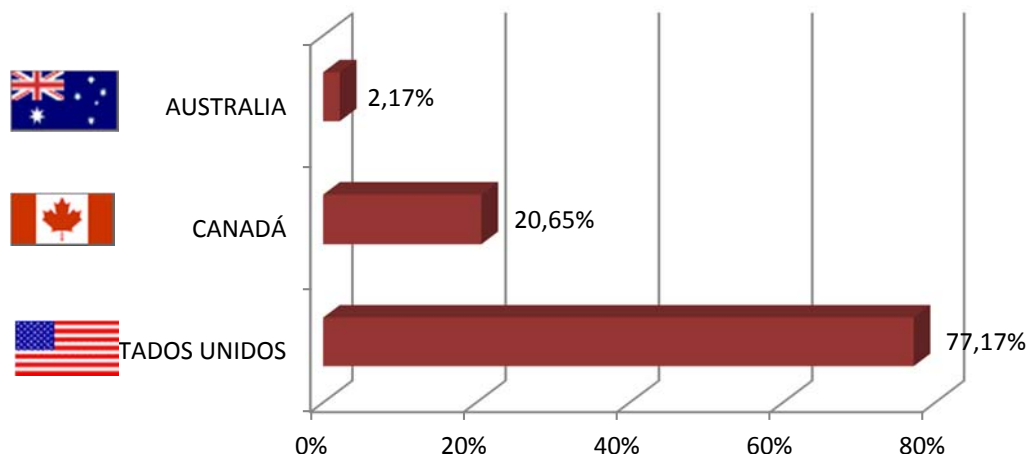
Gráfica 4-10 Evolución de los artículos según el grupo de investigación.

Elaboración propia.

Si observamos la producción de artículos por grupo y año podemos ver como los primeros trabajos relevantes fueron desarrollados por el grupo formado por Estados Unidos-Canadá-Australia, a partir de comienzos de los años 90 empiezan a aparecer trabajos de interés producidos por Europa en cantidad equivalente a la del grupo inicial y no es hasta principios del siglo XXI cuando los trabajos producidos por Asia adquieren una fuerte relevancia. Por otra parte el grupo de América del Sur y Central y el grupo de África comienzan su producción de forma consistente a partir de 2010.

En el grupo de Estados Unidos-Canadá-Australia vemos (Gráfica 4-11) que la mayor contribución de trabajos relevantes en GrSCM la aporta Estados Unidos (77,13%) seguido de lejos por Canadá (20,65%) y Australia (2,17%).

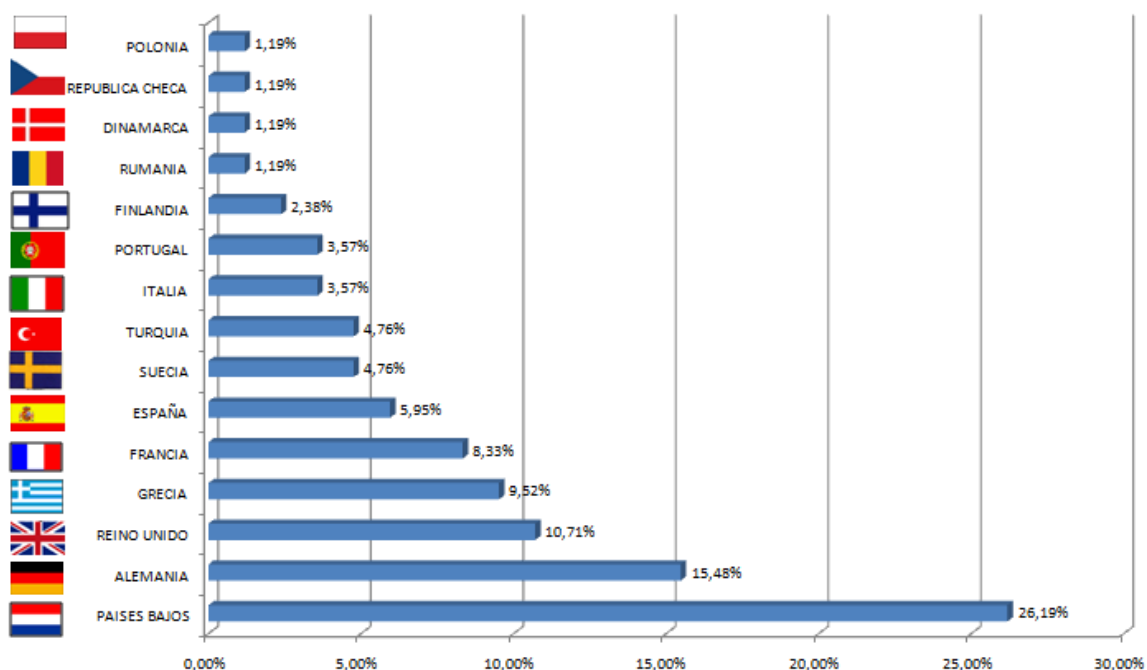
Gráfica 4-11 Porcentaje de contribución de los países del grupo Estados Unidos-Canadá-Australia.



Elaboración propia.

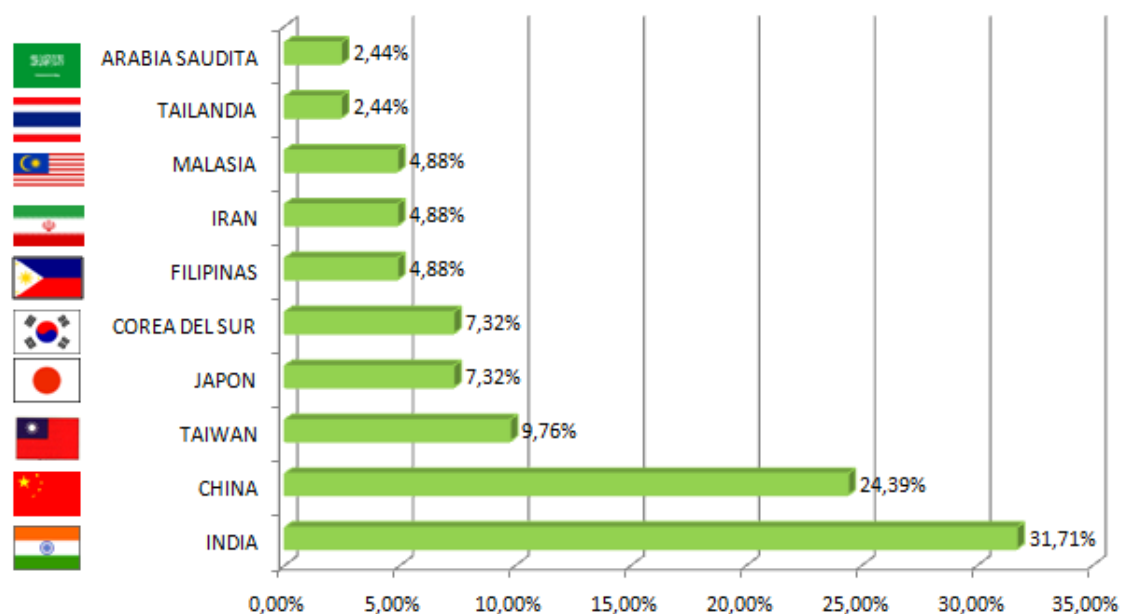
En el grupo de Europa (Gráfica 4-12) cerca del 70% de la producción de trabajos la aportan los Países Bajos (26,19 %) seguidos de Alemania (15,48 %), Reino Unido (10,71%), Grecia (9,52%) y Francia (8,33%). Se ha incluido Turquía en este grupo al ser un país candidato para su adhesión a la Unión Europea.

Gráfica 4-12 Porcentaje de contribución de los países del grupo Europa



En cuanto al grupo de Asia (Gráfica 4-13) las mayores aportaciones las realizan la India y China que entre los dos acumulan el 56,10 % de la producción de los trabajos seleccionados.

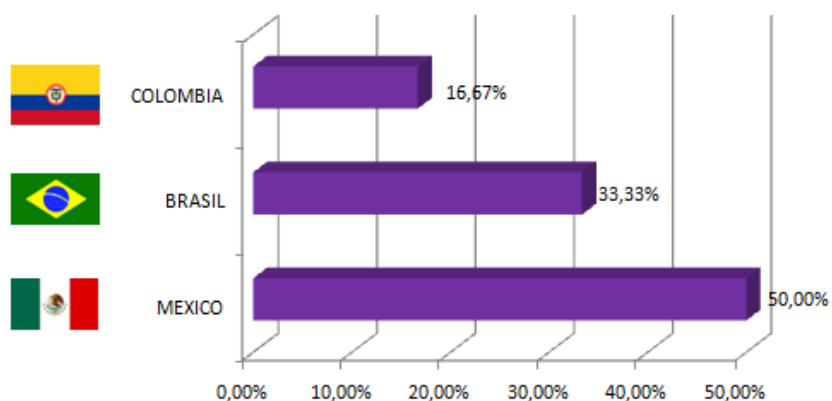
Gráfica 4-13 Porcentaje de contribución de los países del grupo Asia



Elaboración propia.

En cuanto al grupo de América del Sur y central México (Gráfica 4-14) destaca con un 50% seguido de Brasil (33,33%).

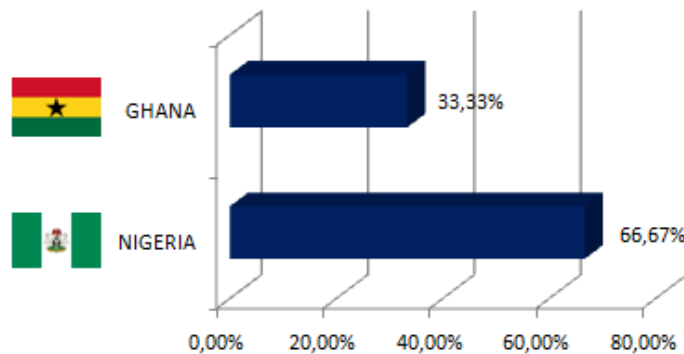
Gráfica 4-14 Porcentaje de contribución de los países del grupo América del Sur y Central.



Elaboración propia.

Finalmente del grupo África (Gráfica 4-15) sólo se han detectado artículos por parte de Nigeria y Ghana en los que fundamentalmente se tratan estudios empíricos.

Gráfica 4-15 Porcentaje de contribución de los países del grupo África.



Elaboración propia.

Tabla 4-12 Artículos con Colaboraciones entre países.

| ARTÍCULOS CON COLABORACIONES ENTRE PAISES |                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estados Unidos / Canadá                   | (Kelle, Silver 1989)(Rogers, Tibben-Lembke 1999)(Sarkis 1998)(Jayaraman, Guide & Srivastava 1999)(Sarkis 2003)(Jayaraman, Patterson & Rolland 2003)(Vachon, Klassen 2006)(Prahinski, Kocabasoglu 2006)(Kocabasoglu, Prahinski & Klassen 2007)(Linton, Klassen & Jayaraman 2007)(Kumar 2012) |
| Países Bajos / Francia                    | (Bloemhof-Ruwaard, Salomon & Van Wassenhove 1996)(Bloemhof-Ruwaard et al. 1996)(Fleischmann et al. 1997)                                                                                                                                                                                    |
| Estados Unidos / China                    | (Zhu, Sarkis 2004)(Zhu, Sarkis & Geng 2005)(Zhu, Sarkis & Lai 2008)(Shi et al. 2012)                                                                                                                                                                                                        |
| Suecia / Países Bajos                     | (Baumann, Boons & Bragd 2002)                                                                                                                                                                                                                                                               |
| China / Canadá                            | (Zhu, Cote 2004)                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Canadá/Francia                            | (Crainic, Gendreau & Dejax 1993)                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Estados Unidos/Países Bajos               | (Guide, Souza & van der Laan 2005)                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Países Bajos/Alemania                     | (Inderfurth, de Kok & Flapper 2001)                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Alemania/Estados Unidos                   | (Klausner, Hendrickson 2000)                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Estados Unidos / Corea del Sur            | (min, Ko & Ko 2006)                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Estados Unidos/Turquía                    | (Moore, Gungor & Gupta 1998)(Moore, Gungor & Gupta 2001)                                                                                                                                                                                                                                    |
| Países Bajos/Grecia                       | (Teunter, Vlachos 2002)                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Alemania/Francia                          | (Teunter, van der Laan & Inderfurth 2000)                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Tailandia/Estados Unidos/Reino Unido      | (Laosirihongthong, Adebajo & Choon Tan 2013; 23)                                                                                                                                                                                                                                            |
| Estados Unidos/Francia                    | (Guide, Van Wassenhove 2009; 1)                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Estados Unidos/Colombia                   | (Sarmiento, Rabelo & Jones 2011; 1)                                                                                                                                                                                                                                                         |
| España/México                             | (Mar-Ortiz, Adenso-Díaz & González-Velarde 2011; 1)                                                                                                                                                                                                                                         |
| Italia/Portugal                           | (Turrise, Bruccoleri & Cannella 2013; 2)                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Estados Unidos/Japón                      | (Nakashima, Loomba 2013; 2)                                                                                                                                                                                                                                                                 |

Elaboración propia.

Tabla 4-13 Artículos clasificados según los países.

| ARTÍCULOS CLASIFICADOS SEGÚN EL PAÍS |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Reino Unido                          | (Giannikos 1998)(Ritchie et al. 2000)(Hicks et al. 2004)(Ghadge et al. 2013; 29)(Aitken, Harrison 2013; 17)(Ding, Glazebrook 2013)(Sbihi, Eglese 2007)(Bernon, Rossi & Cullen 2011; 14)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| India                                | (Srivastava, Srivastava 2006a)(Srivastava 2007)(Srivastava 2008)(John et al. 2013; 1)(Gupta, V. , Abidi, Naseem 2013)(Gupta, Abidi & Bandyopadhyay 2013)(Madaan, Wadhwa 2010; 1)(V et al. 2013; 1)(Sharma 2013; 1)(Vasudevan, Kalamkar & Terkar 2012; 1)(Tonape, Owk 2013; 1)(Abraham 2011; 10)(Srivastava 2008; 16)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Filipinas                            | (Rao 2002)(Rao, Holt 2005)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Taiwán                               | (Sheu, Chou & Hu 2005)(Chen, Chang 2012a)(Chen, Chang 2012b)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Países Bajos                         | (Kroon, Vrijens 1995)(Ashayeri et al. 1996)(van der Laan, Dekker & Salomon 1996)(van der Laan et al. 1996)(van der Laan, Salomon 1997)(Barros, Dekker & Scholten 1998)(van der Laan, Salomon & Dekker 1999)(Fleischmann et al. 2000)(Fleischmann et al. 2001)(Kiesmuller, van der Laan 2001)(Fleischmann, Kuik & Dekker 2002)(Kiesmuller, Scherer 2003)(Listes, Dekker 2005)(Mostard, Teunter 2006)(Quak, de Koster 2007)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Italia                               | (Caruso, Colorni & Paruccini 1993)(Haastrop et al. 1998)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Grecia                               | (Georgiadis, Vlachos 2004)(Georgiadis, Vlachos & Tagaras 2006)(Vlachos, Georgiadis & Iakovou 2007b)(Xanthopoulos, Vlachos & Iakovou 2011)(Kapetanopoulou, Tagaras 2009)(Kapetanopoulou, Tagaras 2011; 8)(Panagiotidou, Nenes & Zikopoulos 2013)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Alemania                             | (Richter 1996)(Hirsch, Kuhlmann & Schumacher 1998)(Richter, Dobos 1999)(Richter, Sombrotzki 2000)(Minner 2001)(Richter, Weber 2001)(Seuring, Müller 2008)(Krapp, Nebel & Sahmie 2013; 30)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Japón                                | (Masui 2005)(Kainuma, Tawara 2006)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Australia                            | (Kara, Rugrungruang & Kaebnick 2007)(Hanafi, Kara & Kaebnick 2008)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| China                                | (Ip, Chan & Lam 2011; 10)(Zhang, Zhang & Liu 2012; 17)(Liu 2013)(Qiaolun 2009; 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Canadá                               | (Klassen 2001)(Matos, Hall 2007)(Mann et al. 2010; 1)(Sophie Bernard 2010)(Hamzaoui Essoussi, Linton 2010; 3)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Estados Unidos                       | (Pohlen, Farris 1992)(Gupta 1993)(Jayaraman, Srivastava 1995)(Guide, Srivastava & Spencer 1996)(Daniel, Guide 1997)(Guide, Srivastava 1997a)(Guide, Srivastava 1997b)(Guide, Kraus & Srivastava 1997)(Guide, Srivastava 1997)(Guide, Kraus & Srivastava 1997)(Carter, Ellram 1998)(Guide, Srivastava 1998)(Jayaraman, Srivastava & Benton 1998)(Min, Jayaraman & Srivastava 1998)(Linton, Johnston 2000)(Chinander 2001)(Ferrer 2001)(Ferrer, Whybark 2001)(Majumder, Groenevelt 2001)(Swenseth, Godfrey 2002)(Murphy, Poist 2003)(Daugherty et al. 2003)(Haas, Murphy 2003)(Mukhopadhyay, Setoputro 2005)(Nagurney, Toyasaki 2005)(Li, Olorunniwo 2008)(Foster et al. 2014; 1)(Lin 2012)(Choi, Wacker 2011)(Ovchinnikov 2011)(Ordoobadi 2009; 7)(Souza 2008)(Toktay, L. Beril, Wei, Donna 2011)(Huscroft 2010; 1)(Jack, Powers & Skinner 2010; 20)(Kumar, Dieveney & Dieveney 2009; 16)(Rose, Stevels & Ishii 2000)(Gurnani, Sharma & Grewal 2010)(Sonya Hsu, Alexander & Zhu 2009; 24)(R. Huscroft et al. 2013; 1)(Bell, Mollenkopf & Stolze 2013; 7)(Huscroft 2010; 1)(Guzman-Siller 2009; 1)(Lee 2009; 1)(Hazen, Hall & Hanna 2012; 13)(J. Hall et al. 2013; 4)(Wright et al. 2011; 1) |
| Suecia                               | (Brodin, Anderson 2008)(Lindskog 2012)(Asif 2011; 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| España                               | (Marín, Pelegrin 1998)(Benedito, Corominas 2011; 1)(Mihi-Ramírez, Arias-Aranda & García-Morales 2012; 1)(Hernández 2011)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Finlandia                            | (Miettinen, Hamalainen 1997)(Antai, Mutshinda 2010; 22)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Portugal                             | (Mourao, Amado 2005)(De Giovanni 2014)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Francia                              | (Savaskan, Bhattacharya & Van Wassenhove 2004)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Corea del Sur                        | (Ahn 2009)(Wook Kim 2012; 23)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Nigeria                              | (Nnorom, Osibanjo 2010; 1)(Oko, Nkamnebe 2013; 15)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Dinamarca                            | (Gobbi 2011; 6)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Malasia                              | (Haji 2012)(Norhana Muslan, Abu Bakar Abd Hamid, Helen Tan and Halimah Idris 2013)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Brasil                               | (Demajorovic et al. 2012; 1)(Freires 2013; 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Rumania                              | (Vasiliu, Dobrea 2012; 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| México                               | (Lozada Rodríguez 2014; 1)(Quintana et al. 2013; 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Ghana                                | (Kwateng et al. 2014; 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Irán                                 | (Hosseinzadeh 2012; 1)(Vahdani, Razmi & Tavakkoli-Moghaddam 2012)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Arabia                               | (Alshamrani 2012; 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |



|                 |                                                           |
|-----------------|-----------------------------------------------------------|
| Saudita         |                                                           |
| República Checa | (Skapa, Klapalov 2010; 26)                                |
| Turquía         | (Paksoy, A-zceylan & Weber 2011; 1)(Erol et al. 2010; 26) |
| Polonia         | (Bajdor, Grabara 2011)                                    |

Elaboración propia.

#### 4.6. CONCLUSIONES Y LIMITACIONES DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

La Gestión de la Cadena de Suministro (SCM) es una de las disciplinas de la Dirección de Operaciones que más se ha desarrollado en las dos últimas décadas. Dentro de la SCM la Gestión de la cadena de suministro inversa (GSCM) es un área relativamente joven (1990) que tiene una gran proyección de futuro debido a las tendencias en legislación medioambiental, oportunidades de nuevos negocios y la presión de unos consumidores cada vez más concienciados con el medioambiente.

Los tres temas de estudio de la GSCM que más se han desarrollando han sido la “Logística inversa y el diseño de red”, la “Gestión de inventarios” y la “Importancia de la GSCM”. La Logística inversa mantiene una tendencia al alza por lo que es un tema en crecimiento y con expectativas para futuras investigaciones. La Importancia de la GSCM también muestra una tendencia creciente motivada probablemente por la atención que se ha mostrado sobre el tema en los últimos 10 años. La Gestión de inventarios ha tenido momentos de gran desarrollo entre los años 1996 y 2004 impulsada por el gran número de trabajos del ámbito de la Investigación Operativa que aparecieron en este periodo.

Al tratarse de un área en desarrollo la tendencia en las investigaciones ha sido hacia la aplicación de teorías existentes sobre la GSCM si bien se percibe que las tendencias en generación de teoría y en proporcionar evidencias empíricas sobre el terreno han ido ganando terreno a partir de finales de los años 90.

El tipo de trabajo que más se ha publicado en GSCM ha sido de métodos analíticos y modelizado y les siguen a distancia los trabajos empíricos que van ganando poco a poco peso en el área. Periódicamente se han realizado revisiones bibliográficas y encuestas que muestran las tendencias y evolución de la GSCM si bien este tipo de trabajo es el menos extendido.

De entre todos los métodos de análisis que se aplican para el estudio de la GSCM la simulación, los modelos algebraicos y el trabajo con software y hojas de cálculo son las más empleadas.

De aquí que también la mayor parte de los datos con los que se trabaja sean generados en laboratorio o casos de estudio dejando poca cabida todavía a la incorporación de datos empíricos que al ser un área nueva son más difíciles de obtener.

No se percibe un desfase temporal apreciable entre el comienzo del estudio de la disciplina entre los Estados Unidos-Canadá-Australia y Europa aunque sí que se puede estimar en unos diez años el retraso en el comienzo de los estudios por parte de Asia y en unos veinte años para los grupos de América del Sur y Central y África.

Como ya se adelantaba en el apartado de metodología se ha trabajado sólo con artículos publicados en revistas de investigación de administración de empresas en inglés además se han eliminado los trabajos que tienen un enfoque más ecológico que administrativo sobre la cadena de suministro y aquellos que se centran en el comportamiento o aspectos éticos. A todo esto se le debe añadir el haber estudiado sólo una muestra de 189 artículos y cuatro trabajos de investigación por lo que se ha sido cauto a la hora de hacer inferencias más generales sobre el área.

Teniendo en cuenta los datos que se desprenden de esta parte de revisión bibliográfica se presenta en la segunda parte una propuesta de modelo de simulación para el estudio de la logística inversa y el diseño de red al ser el tema que más frutos está dando y la herramienta que más se aplica para el análisis de la GSCM.

La técnica de simulación que se emplea en ésta tesis para la modelización es la Dinámica de Sistemas.

#### 4.7. GLOSARIO DE CONCEPTOS GENERALES

Para una mejor comprensión del modelo que se explica en el capítulo 6 se presenta el siguiente glosario con la terminología de la GSCM que más se emplea.

##### APROVISIONAMIENTO VERDE

| AUTORES                                             | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lamming et al., (1999); Lloyd, (1994) en Rao (2002) | El aprovisionamiento verde comprende un numero de iniciativas con base medioambiental como cuestionarios medioambientales para el suministrador, auditorias y asesoramiento medioambiental para los suministradores, criterios medioambientales en una lista aprobada de suministradores, requerimientos a los suministradores de certificaciones medioambientales independientes, desarrollo conjunto de tecnologías y procesos limpios con los suministradores , comprometer a los suministradores en el diseño medioambiental, innovación en productos y procesos, etc. |

##### BROKERS

| AUTORES                      | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rogers, Tibben-Lembke (1999) | En logística inversa los brokers son empresas especializadas en productos que están al final de su periodo de ventas. A menudo consiguen negociar el suministro de los productos dando un precio de venta bajo pero suficiente para obtener beneficios. |

##### CANIBALIZACIÓN DE LA DEMANDA

| AUTORES                      | DEFINICIÓN                                                                                                                                     |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rogers, Tibben-Lembke (1999) | En logística inversa la canibalización de la demanda se produce cuando las ventas en el mercado secundario reducen las ventas en el canal "A". |

**CANIBALIZACIÓN DE COMPONENTES**

| AUTORES                      | DEFINICIÓN                                                                                                                            |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rogers, Tibben-Lembke (1999) | Se produce cuando partes o componentes son tomados de un ítem y utilizados para reparar o reconstruir otra unidad del mismo producto. |

**CENTRO DE RECOGIDA**

| AUTORES           | DEFINICIÓN                                                        |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Srivastava (2008) | Instalación donde los consumidores entregan sus productos usados. |

**CENTRO DE REPROCESADO**

| AUTORES           | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Srivastava (2008) | Es una instalación donde los productos son rehabilitados o reprocesados. Hay dos tipos de estos centros dependiendo de la decisión de disposición y del nivel de tecnología y habilidades para procesar los productos retornados: centro de reprocesado y centro de rehabilitación o restauración. |

**DESENSAMBLADO**

| AUTORES                                               | DEFINICIÓN                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gupta y Taleb (1994) en Moore, Gungor & Guptra (1998) | Es un método sistemático de separación de un producto en sus partes constituyentes, componentes u otras agrupaciones. |

**DISEÑO VERDE, DISEÑO MEDIOAMBIENTAL Y ECODISEÑO**

| AUTORES           | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Srivastava (2007) | Consideración sistemática de temas de diseño asociados con la seguridad medioambiental y la salud a lo largo del ciclo de vida completo del producto durante el desarrollo de nuevos productos y procesos. Este enfoque abarca muchas disciplinas incluyendo la gestión del riesgo |

|                                                    |                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                    | medioambiental, seguridad del producto, seguridad y salud en el trabajo, prevención de la contaminación, conservación de recursos y gestión de desechos. |
| Lenox et al. 1996 en Baumann, Boons & Bragd (2002) | El diseño ambiental es el proceso sistemático por el cual las empresas diseñan sus productos y procesos de manera respetuosa con el medioambiente.       |

## ECOLOGÍA INDUSTRIAL

| AUTORES                      | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lowe (1990) en Sarkis (2003) | La ecología industrial es un esquema de organización sistemático para las múltiples facetas de la gestión medioambiental. Esto presenta el mundo industrial como un sistema natural, una parte de los ecosistemas locales y de la biosfera global. La ecología industrial ofrece un entendimiento fundamental del valor de modelar el sistema industrial en ecosistemas para lograr el desarrollo medioambiental sostenible. |

## MANUFACTURA VERDE

| AUTORES           | DEFINICIÓN                                                                                                   |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Srivastava (2007) | La manufactura verde pretende reducir la carga ecológica utilizando los materiales y tecnologías apropiados. |

## MERCADOS SECUNDARIOS

| AUTORES                      | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rogers, Tibben-Lembke (1999) | El mercado secundario es un término que se aplica a la recogida por liquidadores, mayoristas, exportadores, brokers y detallistas que venden productos que, por una razón u otra, no han sido vendidos en los canales de ventas primarios. Las compañías que operan en los mercados secundarios venden tanto productos nuevos como productos usados. |

**OPCIONES DE DISPOSICIÓN**

| AUTORES           | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Srivastava (2008) | Decisiones sobre lo que debe hacerse a continuación de aceptar un producto retornado. Hay tres tipos de opción de disposición: vender sin reprocesar a un centro de recogida, vender después de reparar o restaurar y vender tras reprocesar. |

**OPERACIONES VERDES**

| AUTORES           | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                     |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Srivastava (2007) | Las operaciones verdes comprenden todos los aspectos relativos a la manufactura/reprocesado, tratamiento, manejo, logística y gestión de desechos una vez que ha finalizado la fase de diseño. |

**RECOGIDA**

| AUTORES                        | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Srivastava, Srivastava (2006a) | Es la primera e importante fase en el proceso de recuperación de productos, donde los tipos de productos son seleccionados y colocados, recogidos y , si se requiere, transportados a instalaciones para la restauración o reprocesado. Cairncros (1992) en (Srivastava, Srivastava 2006a) sugiere clasificar los esquemas de recogida según quien realiza el transporte inicial, si se trata del consumidor se tratará de un “esquema de entrega” y si se trata de un gestor de desechos “recogida de la calle”. |

**RECUPERACIÓN**

| AUTORES                      | DEFINICIÓN                                                                            |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Rogers, Tibben-Lembke (1999) | Se produce cuando un producto es vendido a un bróker o a otro vendedor de bajo costo. |

## RECUPERACIÓN DE MATERIALES

| AUTORES       | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ferrer (2001) | Es el proceso de recuperación del valor de los materiales de un producto. Es un proceso destructivo con pérdida completa de todas las funciones y toda la información embebida en la parte. Un ejemplo de recuperación de materiales es el reciclado. |

## RECUPERACIÓN DE VALOR

| AUTORES       | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ferrer (2001) | Es el proceso de recuperación de componentes o subcomponentes utilizables del producto. El valor del material y el valor añadido en la producción del componente individual son salvados. Ejemplos de procesos de recuperación de valor son la canibalización y el reprocesado. |

## REPROCESADO

| AUTORES                               | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Srivastava (2007)                     | El reprocesado hace referencia a un proceso industrial en el que los productos inservibles y gastados son restaurados hasta recuperar sus condiciones iniciales.                                                                                                                                                                                   |
| van der Laan, Dekker & Salomon (1996) | El reprocesado es la transformación de unidades usadas, compuestas de componentes y partes, en nuevas unidades que satisfacen el mismo nivel de calidad y otros estándares.                                                                                                                                                                        |
| Ferrer (2001)                         | Es el proceso de realización de productos renovados o partes ensambladas con algunos componentes o subcomponentes previamente utilizados. Este proceso requiere del desensamblado del ítem usado, la selección de las partes que pueden ser reutilizadas, inspección y renovación de los componentes críticos y reensamblado en el producto final. |
|                                       | El reprocesado se ha considerado como la                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lund, (1984) en Guide, Srivastava (1998) | transformación de unidades usadas, que consisten en componentes y partes, en unidades, que satisfacen exactamente la misma calidad y otros estándares que las unidades nuevas.                                                                                   |
| Majumder, Groenevelt (2001)              | El reprocesado el proceso de desensamblado de ítems usados, inspección y reparación /restauración de componentes y utilización de estos en nuevos productos. Un producto se considera reprocesado si sus componentes principales provienen de un producto usado. |





## 5. CONSIDERACIONES SOBRE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

La dinámica de Sistemas es una disciplina para el estudio de las relaciones entre la estructura y el comportamiento de un sistema con ayuda de modelos informáticos de simulación.

Una de las definiciones más aceptadas es la propuesta por Wolstenholme (Wolstenholme 1990, en (Pérez Ríos 1992)):

“La Dinámica de Sistemas es un método riguroso para la descripción tanto cualitativa como cuantitativa, la exploración y el análisis de sistemas complejos, en términos de sus procesos, información, límites organizativos y estrategias; que facilita el análisis, modelado y simulación cuantitativa, para el diseño de la estructura del sistema y su control”.

### 5.1. ORIGEN DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

En la década de los cincuenta, el ingeniero de sistemas Jay W. Forrester del MIT (Massachusetts Institute of Technology) recibió el encargo de la compañía norteamericana Sprague Electric de estudiar las acusadas oscilaciones de sus ventas, y establecer medidas para corregir tales oscilaciones (Martín García 2003).

Por su experiencia anterior, Forrester comprendió que la esencia del problema radicaba en las oscilaciones que presentan los sistemas que tienen como características estructurales los retardos y los bucles de realimentación.

En 1961, Forrester publicó su obra *Industrial Dynamics* (existe traducción al castellano con el título *Dinámica Industrial* en Ed. Ateneo, Buenos Aires 1961)(Forrester 1961a) que marca el comienzo de la técnica “Dinámica de Sistemas” como procedimiento de estudio y simulación del comportamiento de sistemas sociales. En 1969, se publica la obra *Dinámica Urbana*, en la que se muestra cómo el modelado mediante Dinámica de Sistemas es aplicable para el estudio de los sistemas dinámicos de las ciudades. En 1970, aparece *World Dynamics* o *El modelo del mundo*, trabajo que sirvió de base para que Meadows y Meadows, realizasen el primer Informe al Club de Roma, investigación que fue divulgada con el nombre de “Los límites del

crecimiento” (publicada en castellano por Fondo de Cultura Económica, México, 1972). El gran mérito de este libro es haberse publicado un año antes de la crisis de materias primas de 1973, y haber vaticinado en parte sus consecuencias. Este trabajo popularizó la Dinámica de Sistemas a escala mundial.

En el momento actual la Dinámica de Sistemas es una técnica de uso generalizado para modelar y estudiar el comportamiento de cualquier clase de sistemas con tal de que éste tenga las aludidas características de retardos y bucles de realimentación.

Estas características son especialmente agudas e intensas en los sistemas sociales; y ello conlleva que estos sistemas tengan comportamientos inesperados y contra intuitivos.

## **5.2. APLICACIONES QUE SE HAN DADO A LA DINÁMICA DE SISTEMAS**

Los campos de aplicación de la dinámica de sistemas son muy variados. Durante sus más de 40 años de existencia se ha empleado para construir modelos de simulación informática en casi todas las ciencias. Por ejemplo en la administración de empresas, planificación urbanística, ingeniería, en sistemas sociológicos donde ha encontrado multitud de aplicaciones, desde aspectos más bien teóricos como la dinámica social de Pareto o de Marx, hasta cuestiones de implantación de la justicia. Un área en la cual se han desarrollado importantes aplicaciones es la de los sistemas ecológicos y medioambientales, en donde se han estudiado, tanto problemas de dinámica de poblaciones como de difusión de la contaminación. Otro campo interesante de aplicaciones es el que suministran los sistemas energéticos, en donde se ha empleado para definir estrategias de empleo de recursos energéticos. Se ha empleado también para problemas de defensa, simulando problemas logísticos de evolución de tropas y otros problemas análogos.

El punto de vista de la Dinámica de Sistemas es radicalmente diferente al de otras técnicas aplicadas a la construcción de modelos de sistemas socioeconómicos, como la econometría. Las técnicas econométricas, basadas en un enfoque conductista, emplean los datos empíricos como base de los cálculos estadísticos para determinar el sentido y la correlación existente entre diferentes factores. La evolución del modelo se realiza sobre la base de la evolución pasada de las variables denominadas

independientes, y se aplica la estadística para determinar los parámetros del sistema de ecuaciones que las relacionan con las otras denominadas dependientes. Estas técnicas pretenden determinar el comportamiento del sistema sin entrar en el conocimiento de sus mecanismos internos sino más bien intentan determinar cuál será la evolución futura del sistema en función del comportamiento pasado del mismo. Así muchos modelos para invertir en Bolsa analizan las montañas y valles en las cotizaciones, los ciclos alcistas y bajistas, etc. y diseñan estrategias para minimizar el riesgo de pérdidas, etc. No pretenden pues “conocer” por qué la cotización de una empresa sube o baja en función de sus nuevos productos, nuevos competidores, etc.

En cambio, el objetivo básico de la Dinámica de Sistemas es llegar a comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema. Esto implica aumentar el conocimiento sobre el papel de cada elemento del sistema, y ver cómo diferentes acciones, efectuadas sobre partes del sistema, acentúan o atenúan las tendencias de comportamiento implícitas del mismo.

Desde su aparición se han realizado numerosas aplicaciones de la dinámica de sistemas a políticas empresariales y problemas estratégicos. Ha habido pocas publicaciones que han aplicado la dinámica de sistemas a la cadena de suministro y la mayor parte de ellas se han aplicado a la cadena de suministro directa. Forrester (1961a) incluye un modelo de cadena de suministro como uno de los primeros ejemplo de aplicación de la metodología de dinámica de sistemas. Towill (1995) en (Vlachos, Georgiadis & Iakovou 2007b)) aplica la dinámica de sistemas en el rediseño de la cadena de suministro. Minegishi y Thiel (2000) en (Vlachos, Georgiadis & Iakovou 2007b) aplican la dinámica de sistemas para mejorar la comprensión del complejo comportamiento de la logística en una industria alimentaria integrada. Sanghwa y Manday (1996) en (Vlachos, Georgiadis & Iakovou 2007b) investigaron el control efectivo de la información en un sistema productor-distribuidor mediante técnicas de control automático de la realimentación.

Sterman (2000) en (Vlachos, Georgiadis & Iakovou 2007b)) presenta dos casos de estudio donde aplica modelos de dinámica de sistemas a problemas de la logística inversa. En el primero Zamudio-Ramirez (1996) en (Vlachos, Georgiadis & Iakovou 2007b)) analiza la recuperación de partes y el reciclaje de materiales en la industria del automóvil en Estados Unidos para proporcionar impresiones sobre el futuro del reciclaje del automóvil. En el segundo Taylor (1999) en (Vlachos, Georgiadis &

Iakovou 2007b)) se centra en los mecanismos del mercado del papel reciclado que habitualmente se hace inestable e ineficiente en flujos, precios, etc.

Georgiadis y Vlachos (2004) aplican la dinámica de sistemas para estimar flujos y stocks en la cadena de suministro inversa al tiempo que proporcionan un marco para la estimación de la capacidad anual de reprocesado.

Partiendo del modelo propuesto por Georgiadis y Vlachos (Georgiadis, Vlachos 2004), el doctorando realizó un modelo más completo (Rodríguez-Fernandez, Blanco Rojo 2011) incluyendo una serie de mejoras como son:

- a) Ampliación del número de escalones de la cadena directa de 2 a 4 introduciendo a los mayoristas y a los minoristas en la cadena. Esto ayuda a mostrar con mayor claridad la aparición del efecto Bullwhip o efecto Fórrester.
- b) Se incluyeron los costes por desinversión por reducción de la capacidad de reprocesado y reducción de capacidad de recogida.
- c) Se ha introdujo la opción de enviar el producto al final de su vida útil a los mercados secundarios para recuperar valor.
- d) Se ha introdujo una línea de ingresos que representa la recuperación de valor de los productos al ser enviados a los mercados secundarios.

### 5.3. ETAPAS DE LA METODOLOGÍA DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

Las etapas que se suelen seguir en la construcción de los modelos de Dinámica de Sistemas son las siguientes:

#### 1ª) Crear el diagrama causal

Un diagrama causal es en sí mismo un modelo, en la medida que supone hacer una representación gráfica del sistema. El diagrama causal es un diagrama que recoge los elementos clave del sistema y las relaciones entre ellos.

Hay que señalar que la aplicación del Diagrama Causal no es exclusiva de la Dinámica de Sistemas sino que el Diagrama Causal en sí mismo es una de las denominadas M7 Herramientas de la Gestión de la Calidad establecidas por la JUSE (*Japanese Union of Scientist and Engineers*) en los años setenta.

Una vez conocidas globalmente las variables del sistema y las hipotéticas relaciones causales existentes entre ellas, se pasa a la representación gráfica de las

mismas. En este diagrama, las diferentes relaciones están representadas por flechas entre las variables afectadas por ellas. Estas flechas van acompañadas de un signo (+ ó -) que indica el tipo de influencia ejercida por la variable sobre la otra.

Cuando un incremento de A, produce un incremento de B, o bien una disminución de A provoca una disminución de B tendremos una relación positiva.



Cuando un incremento en A produce una disminución de B, o bien una disminución de A provoca un aumento de B, tendremos una relación negativa.



Se dice que hay un bucle de realimentación o feedback cuando en un diagrama causal existe una “flecha” que partiendo de una variable “vuelve” a ella después de un camino más o menos largo.

Los bucles se definen como “positivos” cuando el número de relaciones “negativas” es par, y “negativos” si es impar. Los bucles negativos llevan al modelo hacia una situación estable y los positivos lo hacen inestable, con independencia de la situación de partida. La mayoría de los sistemas contienen ambos tipos de bucles y el comportamiento final dependerá de cuál es el dominante en un momento determinado.

En la tabla 5-1 se resume el tipo de relaciones entre variables así como la interpretación matemática de las mismas. Se incluyen también algunos ejemplos de las mismas.

## 2ª) Definir el problema

Es conveniente definir el problema en términos que podamos apreciar con claridad cuando mejora y cuando empeora. Son válidas tanto definiciones cuantitativas (minutos de espera del cliente) como cualitativas (miedo a volar en avión).

Tabla 5-1 Interpretación de las relaciones de los diagramas causales.

| Símbolo                                                                           | Interpretación                                                                                                                                                   | Ecuación                                                                                                   | Ejemplos                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Si todo lo demás permanece constante, si X aumenta o disminuye, entonces Y se incrementa o disminuye.</p> <p>En el caso de acumulaciones, X suma a Y.</p>     | $\partial Y / \partial X > 0$ <p>En caso de acumulaciones</p> $Y = \int_{t_0}^t (X + \dots) ds + Y_{t_0}$  | <p>Calidad Producto <math>\xrightarrow{+}</math> Ventas</p> <p>Esfuerzo <math>\xrightarrow{+}</math> Resultados</p> <p>Nacimientos <math>\xrightarrow{+}</math> Población</p> |
|  | <p>Si todo lo demás permanece constante, si X aumenta o disminuye, entonces Y se disminuye o se incrementa.</p> <p>En el caso de acumulaciones, X resta a Y.</p> | $\partial Y / \partial X < 0$ <p>En caso de acumulaciones</p> $Y = \int_{t_0}^t (-X + \dots) ds + Y_{t_0}$ | <p>Precio Producto <math>\xrightarrow{-}</math> Ventas</p> <p>Frustración <math>\xrightarrow{-}</math> Resultados</p> <p>Muertes <math>\xrightarrow{-}</math> Población</p>   |

Elaboración propia.

### 3ª) Definir las influencias de primer orden

En esta etapa es necesario escribir el nombre de todos los elementos que creemos que tienen influencia con el problema. Pueden ser elementos cuantitativos o cualitativos, pero lo importante es que podamos siempre valorar cuando han tenido una mejora o aumento, o una disminución o empeoramiento.

### 4ª) Definir las influencias de segundo orden

Una vez que tenemos localizados los elementos que influyen directamente en el estado del problema hemos de identificar los elementos que influyen en ellos, a los que llamaremos influencias de segundo orden.

Son elementos no relacionados directamente con el problema, pero que condicionan de forma decisiva a los que si lo hacen.

### 5ª) Definir las influencias de tercer orden

Repetiremos el proceso anterior con nuevos elementos que influyen en ellos, y repetiremos esta operación tantas veces como sea necesario.

### 6ª) Definir las relaciones

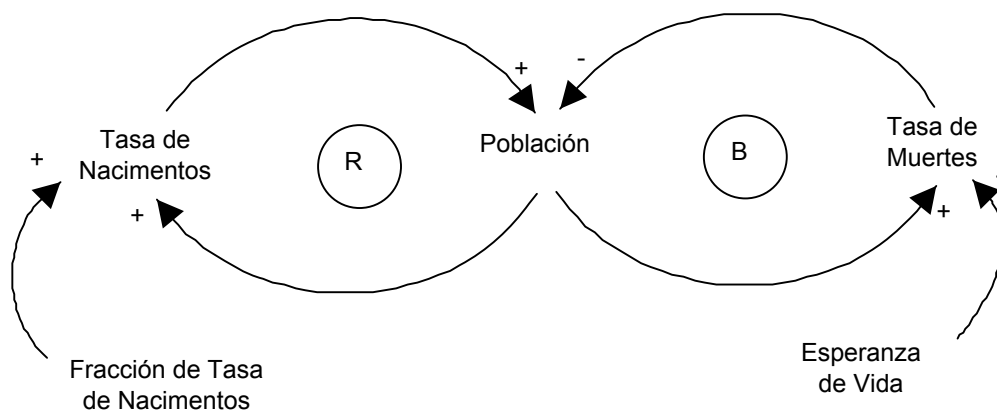
Esta etapa consiste en dibujar las flechas o influencias que creemos existen entre los elementos del sistema indicando su relación positiva o negativa.

### 7ª) Identificar los bucles de realimentación

El concepto de bucle es muy útil porque nos permite partir desde la estructura del sistema que analizamos y llegar hasta su comportamiento dinámico. Si un sistema oscila persistentemente, o se halla en equilibrio, o decae con rapidez, podemos identificar las razones estructurales y decidir cómo modificar los bucles causales que lo van a alterar. La aplicación de esta forma de actuar se extiende desde el control de un proceso industrial, al seguimiento de la diabetes o el cáncer, variaciones de los precios de las materias primas, crecimiento económico, etc. La estructura del sistema provoca su comportamiento.

Este es el momento en el que conviene identificar aquellas relaciones donde existen retrasos significativos, ya sean materiales o de información ya que este aspecto va a crear una dinámica propia en el sistema.

Ilustración 5-1 Ejemplo de Diagrama causal con bucles de realimentación.



### 8ª) Depurar las influencias no relevantes

Es necesario depurar del sistema aquellos elementos inicialmente incluidos en él pero que en las etapas siguientes hemos percibido que su papel en relación al



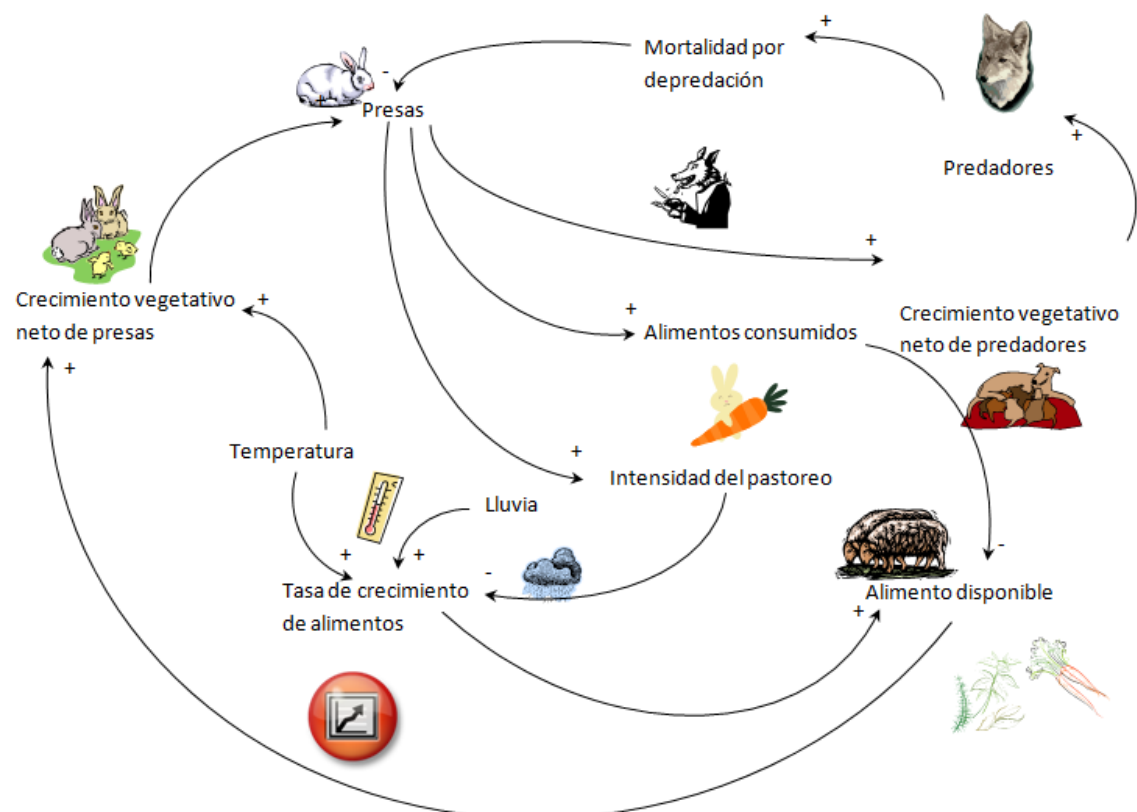
problema que nos ocupa no es relevante, en ocasiones simplemente porque sus efectos se producen más allá del horizonte temporal con el que hemos planteado el modelo.

### 9ª) Idear posibles soluciones al problema

A la vista del diagrama causal que tenemos, con las relaciones causales bien identificadas, los bucles con sus signos respectivos, los retrasos materiales y de información y hecha la depuración de los elementos innecesarios, podemos empezar a tratar de identificar si es posible localizar algunos de los patrones de comportamiento de los sistemas y si es así podremos empezar a idear algunas soluciones para el problema.

Las soluciones más eficaces vienen siempre de la modificación de las relaciones que hay entre los elementos, más que de un intento de modificar la naturaleza de los elementos.

Ilustración 5-2 Ejemplo de un Diagrama Causal de un sistema ecológico



### 10ª) Crear el diagrama de flujo o diagrama de Fórrester

El diagrama de flujo, también conocido como diagrama de Forrester está formado por los siguientes elementos:

- a) Variables de estado o niveles: Los niveles son aquellos elementos que nos muestran en cada instante la situación del modelo, presentan una acumulación y varían solo en función de otros elementos denominados “flujos”.



Ej. Productos, personas, km, litros...

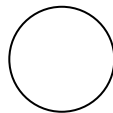
- b) Variables de flujo o flujos: Son las variables que afectan al comportamiento de las variables de estado, o niveles. Por su propia esencia, estas variables están referenciadas a un período de tiempo; y más concretamente al tiempo transcurrido entre dos instantes. Las variables de flujo afectan a los niveles haciendo que éstos crezcan o disminuyan. Siguiendo un símil hidrodinámico, estas variables son representadas por una válvula.

Flujo



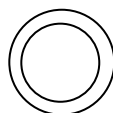
Ej. Personas/día, km<sup>2</sup>/año, ud/min...

- c) Variables de auxiliares: Las variables auxiliares son magnitudes que ayudan a explicar los valores de los flujos y por tanto influyen o son influidas por otras variables del sistema.



Variable auxiliar

- d) Variables exógenas: Tanto los niveles, los flujos como las variables auxiliares son variables endógenas, o dependientes. Su comportamiento es explicado por otras magnitudes del sistema. Existen variables externas al sistema, que actúan sobre el comportamiento de éste; pero no se ven afectados por él, estas son las variables exógenas.



Variable exógena

- e) Tasas o parámetros: Son magnitudes que permanecen constantes a lo largo del período o intervalo de estudio del sistema.



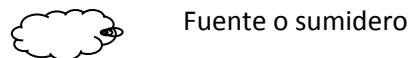
- f) Canal de material: Las magnitudes físicas entre flujos y niveles se transmiten a través de los denominados “canales materiales”. La denominación “canal material” se debe a que conceptualmente representa una red de comunicación por la que circulan materiales o elementos inventariables.



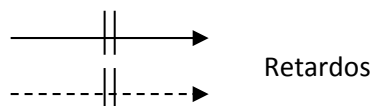
- g) Canal de información: Representan las interrelaciones entre variables y parámetros y variables con otras variables. Los canales de información transmiten informaciones, que por su naturaleza, no se conservan.



- h) Fuentes o sumideros: Cuando la procedencia o el destino de los materiales o elementos inventariables no es de interés en el estudio del modelo se hace el convenio de suponer que proceden (o van) de fuentes inagotables (o sumideros que nunca se llenan). Como símbolo se emplea una nube.



- i) Retardos: Cuando la transmisión de información o material no es inmediata, sino que se lleva a cabo en un período de tiempo mayor al elegido como unidad temporal de análisis se produce un retardo. Aunque los retardos existen en todos los flujos materiales sólo se han incluido en este modelo los que son significativos comparados con el tiempo de paso de la simulación.



**11ª) Caracterizar los elementos**

Primero conviene identificar los niveles del sistema. Las variaciones de estos elementos son los flujos. Han de tener las mismas unidades más una componente temporal. El resto de elementos son Variables Auxiliares, Exógenas o Parámetros.

Los flujos no suelen aparecer en el diagrama causal de una forma explícita y deben de ser añadidos en la creación del diagrama de flujos.

**12ª) Escribir las ecuaciones**

Se concretan las relaciones que existen entre los elementos del sistema.

Las ecuaciones que se emplean para los niveles son ecuaciones diferenciales de la forma:

$$N(t) = N(0) + \int_0^T (FE - FS)dt$$

Donde:

$N(t)$  = Valor del nivel en el instante  $t$

$N(0)$  = Valor del nivel en el instante inicial  $t=0$

$FE$  = Flujo de entrada en función del tiempo

$FS$  = Flujo de salida en función del tiempo

$T$  = Período de integración.

Las ecuaciones del resto de los elementos pueden ser de tipo lineal o no lineal, deterministas o probabilísticas, y cuando no es posible crear una ecuación que represente la relación entre distintas variables se pueden emplear tablas de relación entre las variables con las que se pueden simular diversas situaciones y escenarios.

**13ª) Crear una primera versión del modelo**

Es imposible crear un modelo completo al primer intento, el proceso de modelado es iterativo y por ello conviene realizar la primera versión con los elementos básicos del sistema e ir añadiendo progresivamente otros elementos y relaciones.

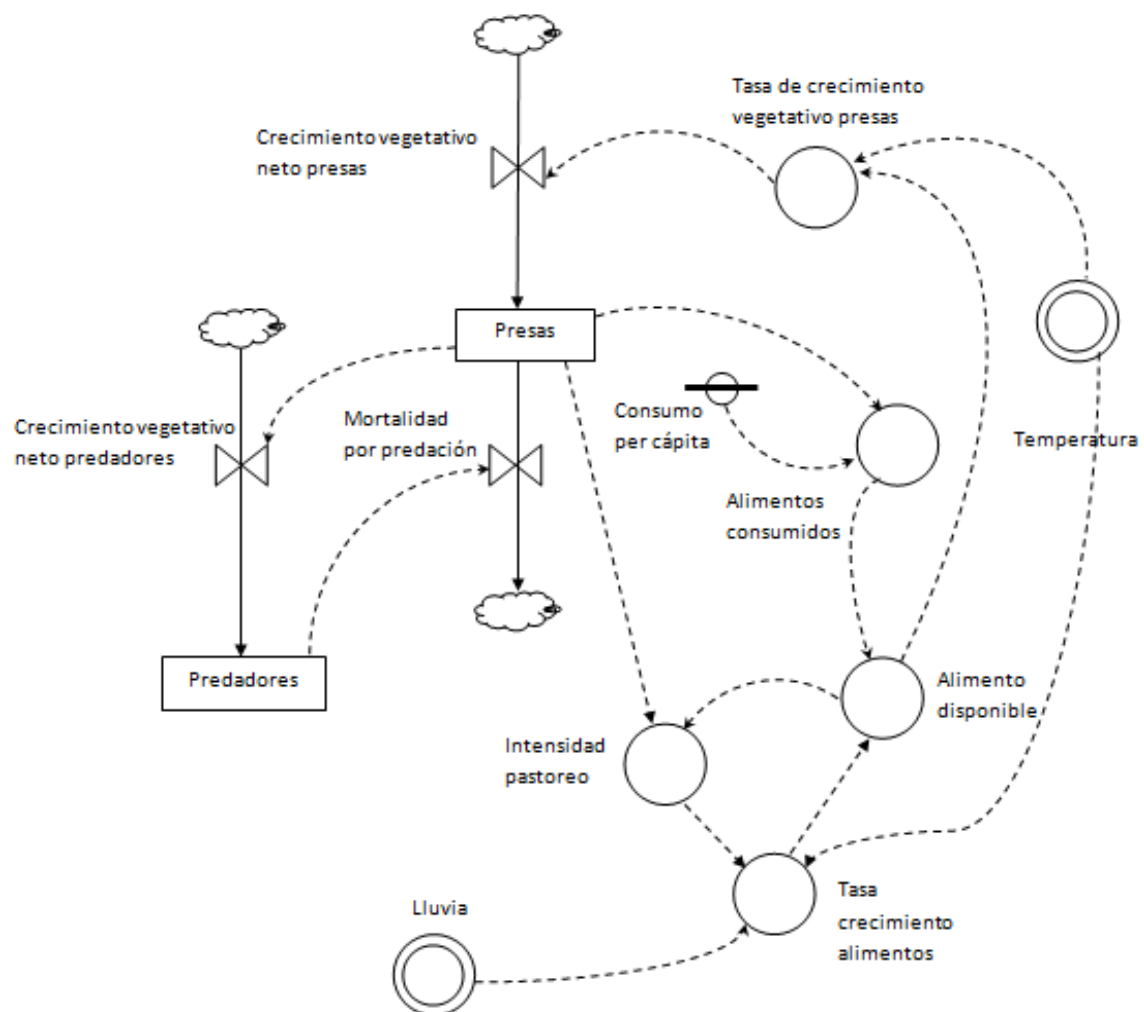
**14ª) Identificar los elementos clave**

En esta etapa se localizan los elementos y relaciones que son clave en el comportamiento del sistema. Éstos son los elementos sobre los que se habrán de centrar los estudios y propuestas para mejorar el comportamiento del sistema.

### 15ª) Simular

La generación de propuestas se ha de basar en introducir modificaciones en el modelo que después puedan llevarse a la práctica, para así poder seleccionar la que ofrezca mejores resultados.

Ilustración 5-3 Ejemplo de un Diagrama de Forrester de un sistema ecológico



### 16ª) Escribir las conclusiones

Es la etapa final y consiste en la elaboración de las conclusiones una vez que consideramos que hemos completado el proceso de simulación.

Aunque tienen una estructura lineal es posible que en algunas ocasiones sea necesario retroceder y repetir alguna de ellas, no se trata por tanto de un esquema lineal sino más bien iterativo.

## 5.4.LIMITACIONES Y VENTAJAS QUE TIENE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

Las principales **críticas** a los modelos creados según la metodología de la Dinámica de Sistemas son las siguientes:

- Falta de contenido empírico de los modelos. Es decir, el resultado del modelo debería ser comparable con datos reales y esto en ocasiones no es posible.
- Las relaciones funcionales recogen ideas y criterios que no cuentan siempre con el apoyo de la teoría, de la evidencia o de la experiencia.
- Los resultados son sensibles a variaciones de algunas entradas o parámetros.
- El carácter determinista de muchos de los modelos, en el sentido de no incluir la posible reacción ante la previsión de cambios futuros.
- Dificultad de cuantificar algunas variables de carácter subjetivo.

Está claro que la naturaleza de los problemas que se abordan con ésta metodología siempre permitirá estas críticas si no se explica previamente que los modelos de Dinámica de Sistemas no son modelos predictivos, no pretenden hallar valores exactos, sino comparativos, es decir han de permitir comparar diferentes políticas alternativas en base al escenario al que conducen.

Por lo tanto no se pretende predecir el futuro sino más bien comprender cómo los posibles cambios que pueden realizarse sobre el sistema están asociados con distintos modos de comportamiento en el tiempo.

Entre las principales **ventajas** que presenta la Dinámica de Sistemas se encuentran todas las propias a cualquier metodología de simulación más las siguientes:

- Posibilidad de denominar a las variables por sus nombres completos haciendo más comprensible el modelo.
- Una de las grandes ventajas, en cuanto al establecimiento de políticas y realización de experimentos de tipo “¿Qué pasa si...?”, es que los parámetros que se introducen en el modelo son funciones en el dominio del tiempo que evolucionan a lo largo de todo el proceso de simulación, por lo que se puede elegir si se desea un comportamiento uniforme o por el contrario se desean introducir períodos de variabilidad que expresen tendencias o procesos de crisis de cada variable.
- Posibilidad de interconectar los modelos, pudiéndose realizar subrutinas de estudio que fácilmente son integradas en el modelo principal.
- Otra característica importante es su enfoque a largo plazo, entendiendo por tal un período de tiempo lo suficientemente amplio como para poder observar todos los aspectos significativos de la evolución del sistema, ya que sólo en una escala de tiempos lo suficientemente amplia podrán verse las tendencias de comportamiento fundamentales. No hay que olvidar que, a veces, los resultados de determinadas políticas no son óptimos porque el horizonte temporal de la toma de decisiones fue demasiado corto o porque faltó una perspectiva de sistema en el planteamiento del problema.
- En los modelos desarrollados con Dinámica de sistemas todas las variables son accesibles y no hay elementos de caja negra como en otro tipo de simuladores.
- El moderno software de aplicación de Dinámica de sistemas lleva implementados algoritmos que permiten la optimización del sistema y también la simulación multivariante como el método de Monte Carlo.

## **5.5.RECURSOS EMPLEADOS PARA UTILIZAR LA DINÁMICA DE SISTEMAS**

Para la simulación de los sistemas se requiere el uso de herramientas informáticas adecuadas.

Las más empleadas son:

- Professional DYNAMO. Es el más clásico de los lenguajes. No presenta posibilidades de modelado mediante iconos, pero sin embargo permite tratar ecuaciones de gran dimensión. La mayor parte de los modelos que se encuentran en los libros clásicos de la dinámica de sistemas están escritos en este lenguaje.
- STELLA y i-THINK. Son entornos informáticos de amplia capacidad interactiva que permiten construir modelos empleando procedimientos gráficos, mediante iconos. Ambos poseen una estructura similar, pero mientras que el primero se encuentra más orientado hacia usos académicos el segundo lo hace hacia aplicaciones profesionales.
- PowerSim. Entorno de características análogas a las anteriores, si bien los anteriores son americanos éste es europeo (Noruega). Permite desarrollar varios modelos simultáneamente, e interconectarlos posteriormente entre sí.
- VenSim. Con respecto a los anteriores presenta algunas ventajas con relación a la organización de datos y a posibilidades de optimización. Se trata de un lenguaje muy potente para el desarrollo de modelos que pueden emplearse tanto en entornos PC y Unix. Permite documentar automáticamente el modelo según se va construyendo, y crea arboles que permiten seguir las relaciones de causa-efecto a lo largo del modelo. Está dotado de instrumentos para realizar análisis estadísticos. Existen versiones gratuitas para descargar desde la web <http://www.vensim.com>. Este es el software con el que se ha realizado este trabajo en su versión Vensim Profesional versión 5.11A.





## SEGUNDA PARTE:

### DESARROLLO DEL MODELO DE LOGISTICA INVERSA MEDIANTE DINÁMICA DE SISTEMAS

#### 6. INTRODUCCIÓN AL MODELO PROPUESTO

El objetivo que persigue en esta parte de la tesis doctoral es el de desarrollar un modelo de simulación dinámico para simular una red de logística inversa con diversas opciones.

Se citan a continuación las opciones incluidas indicando aquellas que son novedad con respecto a otros modelos de dinámica de sistemas:

- Reprocesado de productos
- Canibalización de componentes (Novedad)
- Venta en mercados secundarios de productos usados (Novedad)
- Venta en mercados secundarios de componentes desensamblados (Novedad)
- Desechado controlado de productos
- Desechado controlado de componentes desensamblados (Novedad)

Con el modelo se pretende estudiar los fenómenos dinámicos asociados a la red de logística inversa así como poder verificar qué opciones son las más adecuadas en función de las características de la curva del ciclo de vida del producto y de los parámetros económicos asociados.

Además en el modelo se puede elegir cualquier combinación de las posibilidades descritas y aplicarlas a un producto determinado para estudiar qué opciones son las más adecuadas en función de las características de la curva del ciclo de vida del producto y de los parámetros económicos asociados.

Otra novedad adicional con respecto a otros modelos estudiados es que se incorporan en el modelo planteado las posibilidades de disponer de una línea de

crédito para necesidades de tesorería y de disponer de préstamos bancarios para financiar las inversiones necesarias para en establecer un sistema de recogida de productos usados y construir una planta de Clasificación, Reprocesado y Desensamblado de productos.

Esta aportación dotará al modelo de la perspectiva económica necesaria para estudiar la viabilidad del establecimiento de la red de logística inversa así como poder estudiar los fenómenos asociados a los cambios que se pueden producir a lo largo del tiempo en los indicadores económicos así como en las condiciones de tesorería asociadas a los préstamos o a la línea de crédito.

Además el modelo permite la evaluación de las políticas de expansión de la capacidad de recogida y capacidad de reprocesado a lo largo del ciclo de vida del producto.

El software de dinámica de sistemas con el que se ha realizado este trabajo ha sido VENSIM en su versión Vensim Profesional versión 5.11A.

Se presenta en la ilustración 6-1 el esquema general de los flujos materiales del modelo desarrollado.

Aunque el análisis del modelo puede diferir de un producto a otro para el propósito de esta tesis doctoral que es la elaboración y propuesta del modelo se trabajará con un producto lo más genérico posible para facilitar su futura implementación a un espectro de casos reales amplio en trabajos posteriores. Se pretende por tanto justificar y fundamentar la elaboración del modelo y presentar sus prestaciones y potencial, dejando la realización de estudios empíricos a futuras investigaciones.

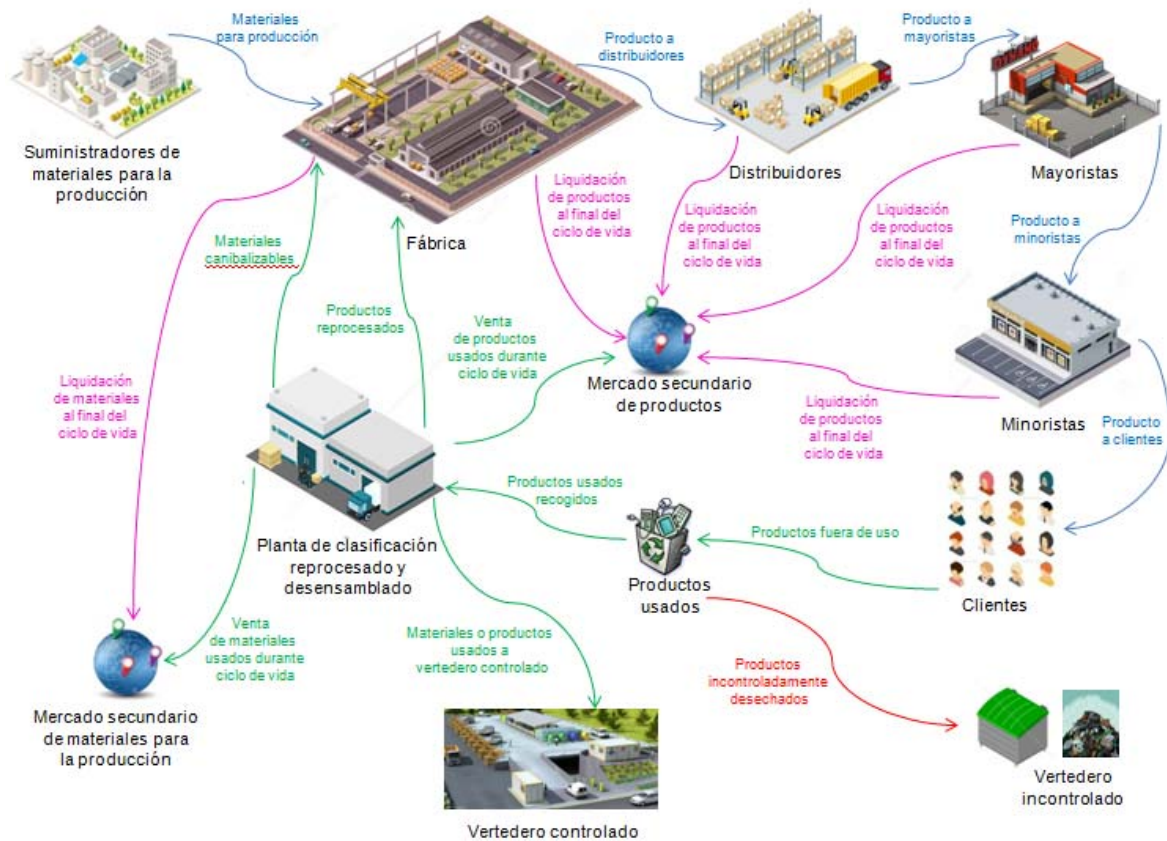
El modelo matemático resuelve un sistema de ecuaciones diferenciales numéricamente, en este caso mediante el método Runge-Kutta de cuarto orden (RK4).

Al ser esta variante del método de Runge-Kutta de cuarto orden, el error por paso es del orden de  $h^5$ , donde  $h$  es el tamaño del intervalo de integración, mientras que el error total acumulado tiene el orden  $h^4$ . Por lo tanto, la convergencia del método es del orden de  $h^4$ , razón por la cual es usado en los métodos computacionales.

En el modelo planteado se resuelve numéricamente un sistema de 32 ecuaciones diferenciales, es decir tantas ecuaciones como niveles. Complementando a estas

ecuaciones se encuentran las ecuaciones de las variables auxiliares y de flujo que junto a las anteriores totalizan las 285 ecuaciones que rigen el modelo.

Ilustración 6-1 Esquema general de los flujos materiales del modelo desarrollado



Elaboración propia.

Una de las ventajas que ofrece el software VENSIM es que se puede dar a las variables una notación lo más cercana posible a su nombre y definición de cara a facilitar la comprensión del modelo. En adelante todas las variables descritas en esta tesis aparecerán en **negrita**.

El modelo propuesto parte del que propusieron Vlachos y Georgiadis (Georgiadis, Vlachos 2004) para el estudio del impacto de los efectos de la regulación y la “imagen verde” en redes de logística inversa con reprocesado y que ha ido evolucionando en trabajos posteriores (Vlachos, Georgiadis & Iakovou 2007b, Georgiadis, Vlachos & Tagaras 2006).

Las aportaciones que se han realizado en el modelo que se ha desarrollado en esta tesis sobre la última versión del modelo de Vlachos y Georgiadis son las siguientes:

- a) Se ha ampliado el número de escalones de la cadena directa de 2 a 4 introduciendo a los mayoristas y a los minoristas en la cadena. Esto ayuda a mostrar con mayor claridad la aparición del efecto Bullwhip, o efecto Fórrester también denominado efecto látigo.
- b) Se han considerado los costes por desinversión debidos a la reducción de la capacidad de reprocesado y reducción de capacidad de recogida.
- c) Se ha introducido la opción de enviar el producto al final de su vida útil a los mercados secundarios para recuperar valor.
- d) Se ha incluido una línea de ingresos que representa la recuperación de valor de los productos al ser enviados a los mercados secundarios.
- e) Se ha introducido la posibilidad de desensamblar los productos recuperados y canibalizar sus componentes en la cadena directa.
- f) Se ha introducido la posibilidad de enviar a desechado controlado los materiales desensamblados que no sean reaprovechables mediante venta en mercados de la segunda mano o canibalización.
- g) Se ha introducido la posibilidad de vender los productos usados recuperados y los materiales obtenidos mediante desensamblado en mercados de la segunda mano durante el ciclo de vida del producto.
- h) Se han incluido los costes administrativos derivados de la detección del desechado incontrolado de los productos usados en forma de tasa (multa) así como un canon de recogida por el desechado controlado.
- i) Se ha introducido la posibilidad de obtener un préstamo hipotecario para financiar los activos de la planta de Clasificación, Reprocesado y Desensamblado.
- j) Se ha introducido también una línea de crédito para cubrir los posibles descubiertos en tesorería.
- k) Se ha modificado las condiciones de venta de la planta de reprocesado del modelo inicial, entendiendo que la venta debe realizarse de una única vez y teniendo en cuenta el efecto de la depreciación de activos.

El modelo se ha construido de forma iterativa y continua, una primera versión del mismo, la número 14, ya fue publicada por el doctorando en una publicación internacional (Rodríguez-Fernandez et al. 2011). En esta tesis doctoral se presenta la

última versión la 20. En las ilustraciones 6-2 y 6-3 se presentan los diagramas causales de los flujos de materiales, de información y económicos del modelo propuesto.

Ilustración 6-2 Diagrama causal de los flujos materiales y de información del modelo propuesto.

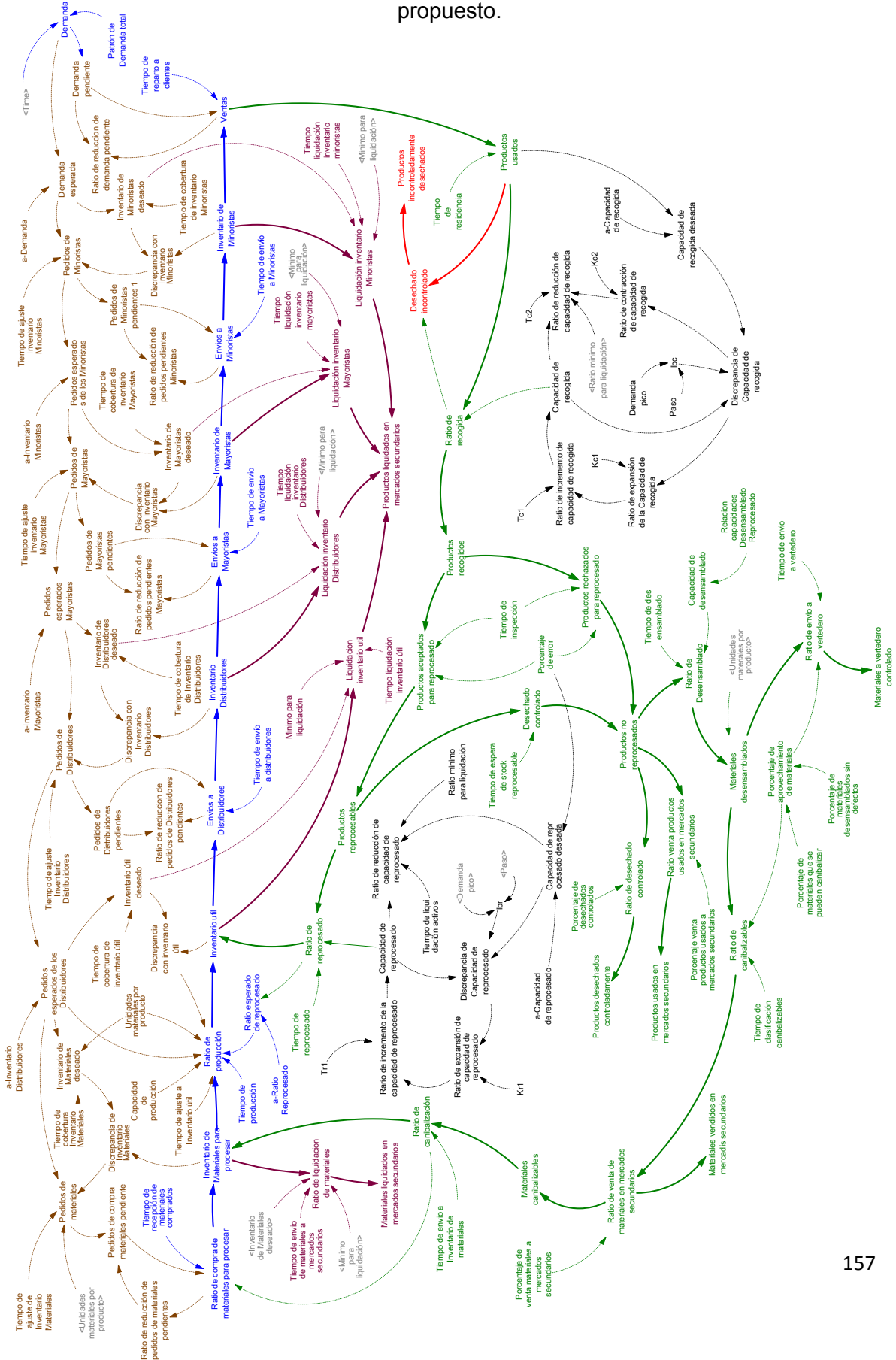
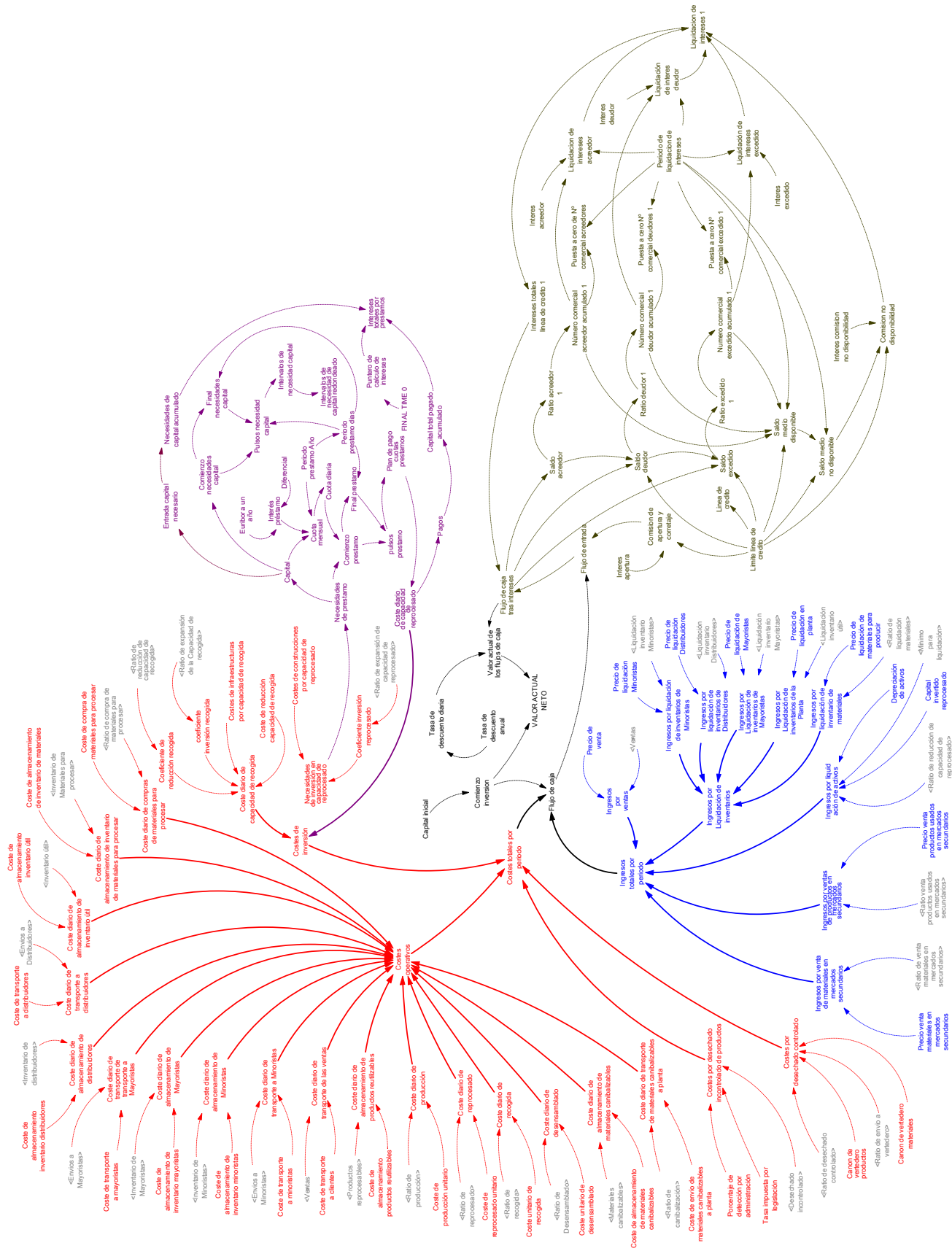


Ilustración 6-3 Diagrama causal de los flujos económicos del modelo propuesto.



### **6.1. ASUNCIONES Y SIMPLIFICACIONES ADOPTADAS EN EL MODELO.**

Se indican a continuación las asunciones y simplificaciones adoptadas en el modelo:

- a) El modelo es dinámico y la mínima unidad temporal es el día.
- b) Para los cálculos se trabajará con años comerciales de 360 días.
- c) El ratio de producción se determina empleando la estructura de gestión de stocks propuesta por Stermán (Stermán 1989). Así el ratio de producción resulta de combinar la diferencia entre los pedidos esperados de los distribuidores y el ratio de reprocesado esperado con el ajuste que proporciona el inventario útil según sea su valor deseado.
- d) Los pedidos de los distribuidores se realizan según la regla de control propuesta por Stermán (Stermán 1989). Este proceso se repite de igual forma en los escalones de mayoristas y minoristas.
- e) Todos los pedidos insatisfechos se convierten en pedidos pendientes que son satisfechos pasado un periodo de tiempo. No se ha considerado por tanto la pérdida de clientes.
- f) Es importante indicar que todos los inventarios considerados siguen un modelo de suministro gradual no de pedido simple, por lo que no hay envíos puntuales de suministros sino que éstos se van produciendo de forma gradual a medida que se van consumiendo.
- g) Una vez que se comience a disponer de productos reprocesados se dará prioridad a éstos sobre los productos fabricados por primera vez.
- h) Una vez que se comience a disponer de materiales para canibalizar se dará prioridad a éstos sobre los materiales comprados por primera vez.
- i) Una vez que la demanda de la cadena directa del producto cae por debajo de un valor mínimo, se ha previsto la liquidación de los inventarios de todos los miembros de la cadena directa que envían el producto a los mercados secundarios recuperando así parte del valor.
- j) En los cálculos económicos se han considerado los costes diarios de cada concepto, esto es debido a que la mínima unidad temporal considerada en la simulación es el día.
- k) La medida del desempeño económico se realizará en base al valor actual neto del conjunto de la red. Es decir, no se consideran los diferentes escalones



como empresas independientes a los efectos de la medida de la eficiencia de la cadena de suministro, puesto que se pretende estudiar la eficiencia económica de forma global. Puede considerarse por tanto que toda la cadena de suministro pertenece a una empresa totalmente integrada. Esta asunción ha sido adoptada también por distintos autores (Georgiadis, Vlachos & Tagaras 2006, Vlachos, Georgiadis & Iakovou 2007a)

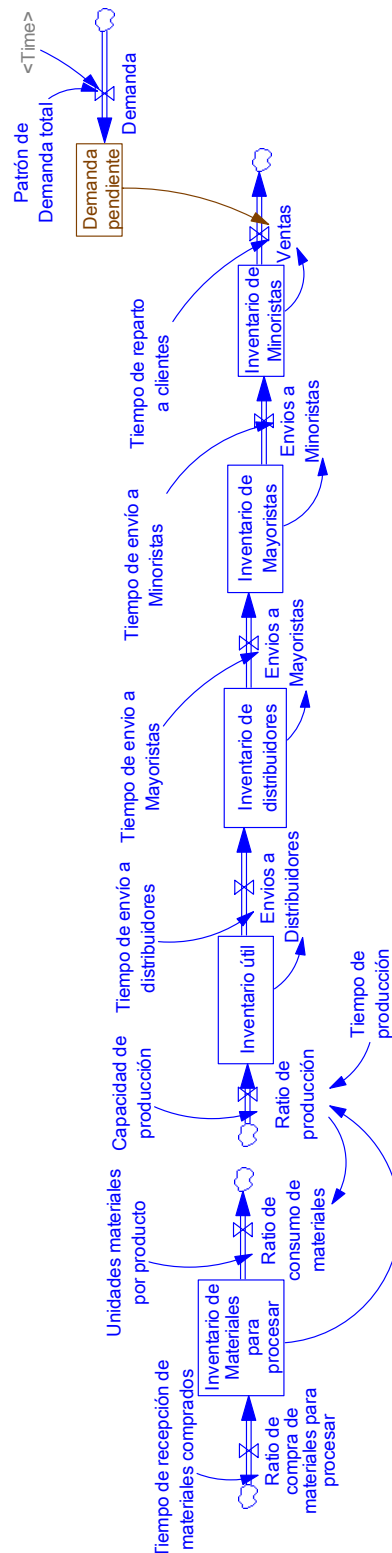
- l) Los préstamos para la financiación de los activos de la planta de Clasificación, Reprocesado y Desensamblado se han modelizado según el método Francés.
- m) Se ha considerado que los ingresos y pagos se realizan a través de una única cuenta bancaria.
- n) La línea de crédito ha sido modelizada según el método Hamburgués.
- o) Para poder evaluar la influencia de la línea de crédito se ha considerado que los costes diarios se pagan diariamente y que los ingresos se producen también diariamente simulando así el comportamiento de los movimientos diarios de una cuenta corriente. Sobre los saldos de esta cuenta se aplicaran las condiciones establecidas en la línea de crédito. El objetivo es obtener de la forma más aproximada posible las liquidaciones de intereses periódicas derivadas de la aplicación de las condiciones de la línea de crédito.
- p) La denominación de las variables implicadas en la subrutina de la línea de crédito se ha hecho desde la perspectiva de la entidad bancaria que concede y liquida periódicamente la línea de crédito. De esta manera cuando la suma del haber es superior a la del debe, el saldo es acreedor o a favor del cliente, lo que implica la existencia de fondos a su favor. En cambio cuando la suma del debe es superior a la del haber, el saldo de la cuenta bancaria es deudor o a favor del banco.

## 7. DESCRIPCIÓN DE LOS FLUJOS MATERIALES DEL MODELO

## 7.1.DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE MATERIALES EN LA CADENA DIRECTA

El Diagrama de Forrester que recoge el flujo de materiales de la cadena directa se representa en la ilustración 7-1.

Ilustración 7-1- Diagrama de Forrester de la cadena directa.



En el modelo propuesto consideramos que una empresa fabrica un determinado producto que es demandado por un mercado.

En el modelo se considera que cada uno de estos productos está constituido por un determinado número de unidades de materiales genéricas para su fabricación.

Esta suposición nos permite realizar una simplificación en el tratamiento de la compra de materiales que no distorsiona el comportamiento de la dinámica de la red de distribución.

La empresa emplea estos materiales genéricos para la fabricación del producto, y los va comprando a un ritmo marcado por el **Ratio de compra de materiales para procesar**. Este ratio es función de varios factores entre los que destaca el **Tiempo de recepción de materiales comprados**, que es el tiempo que se tarda en recibir los materiales comprados. Los materiales comprados constituyen el **Inventario de Materiales para procesar**.

La empresa va procesando los materiales, fabricando y almacena el producto terminado conformando lo que denominamos **Inventario útil**, es decir el inventario formado por los productos terminados en condiciones de ingresar al mercado. La empresa fabrica el producto con una determinada tasa que en nuestro caso denominamos **Ratio de producción**. Para fabricar un producto se emplean un determinado número de unidades materiales genéricas, que están recogidas en la variable **Unidades materiales por producto**.

Este **Ratio de producción** será función entre otras cuestiones del **Tiempo de producción**, entendiendo por tal en tiempo que se emplea en producir y de la **Capacidad de producción**, es decir la cantidad máxima de producto que la empresa puede producir por unidad de tiempo.

A medida que los Distribuidores van requiriendo producto realizan pedidos a la empresa y ésta expide los correspondientes **Envíos a distribuidores** que tardan un determinado tiempo en llegar hasta los almacenes del distribuidor, el **Tiempo de envío a distribuidores**. Los productos que van llegando a los distribuidores constituyen el denominado **Inventario de distribuidores**.

Los Distribuidores sirven directamente a los Mayoristas. A medida que el producto es solicitado mediante los pedidos de los Mayoristas, los Distribuidores realizan los **Envíos a Mayoristas** y los productos tardan un tiempo determinado en llegar a los

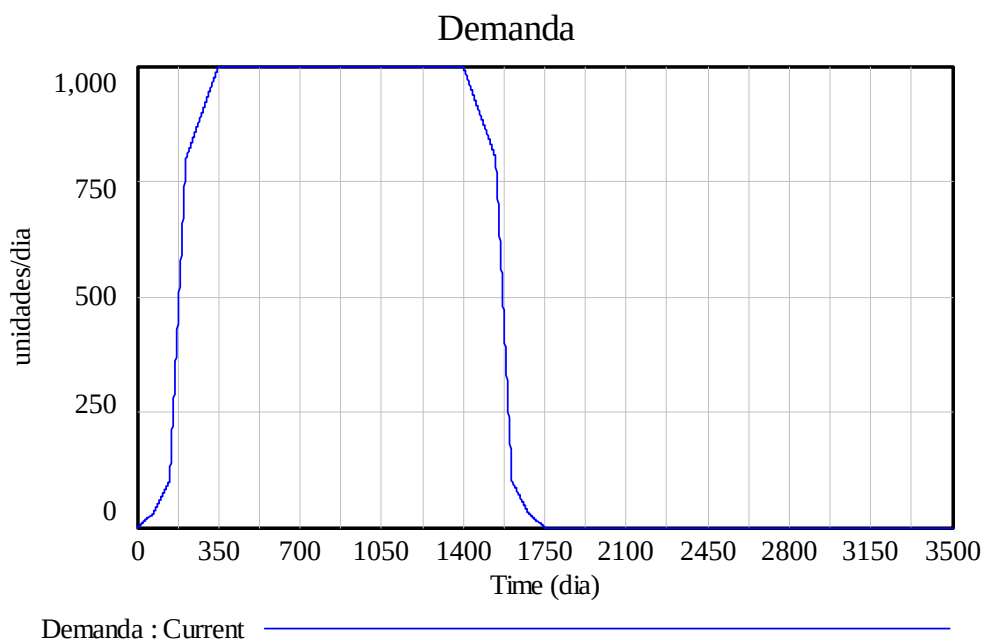
almacenes de los Mayoristas, el denominado **Tiempo de envío a Mayoristas**. Una vez que los productos llegan a los Mayoristas se constituye el **Inventario de Mayoristas**.

Los Mayoristas sirven exclusivamente a los Minoristas y de igual forma cuando los Mayoristas reciben los pedidos de los Minoristas realizan los **Envíos a Minoristas**, tardando un tiempo determinado en llegar a los almacenes de menudeo que se ha llamado **Tiempo de envío a minoristas**. Una vez que los productos llegan a los Minoristas se constituye el **Inventario de Minoristas**.

Los Minoristas atienden directamente la demanda de los Consumidores finales a través de las **Ventas** y van solicitando pedidos a los Mayoristas a medida que se reducen sus inventarios por consumo. De igual manera que antes, los Minoristas tardan un determinado tiempo en hacer llegar el productos a los clientes que se ha denominado **Tiempo de reparto a clientes**.

La **Demanda** de los consumidores sigue un determinado **Patrón de Demanda total** en función del ciclo de vida del producto. Por ejemplo, en la gráfica 7-1 se ha supuesto un producto que mantiene una demanda de 1.000 unidades/día durante una vida útil de 1.750 días en el mercado considerado. Este patrón cambiará en función del tipo de producto, ya que esto afectará directamente a los dos parámetros que condicionan la curva del ciclo de vida: la demanda esperada y su vida útil.

Gráfica 7-1 Ejemplo de patrón de demanda



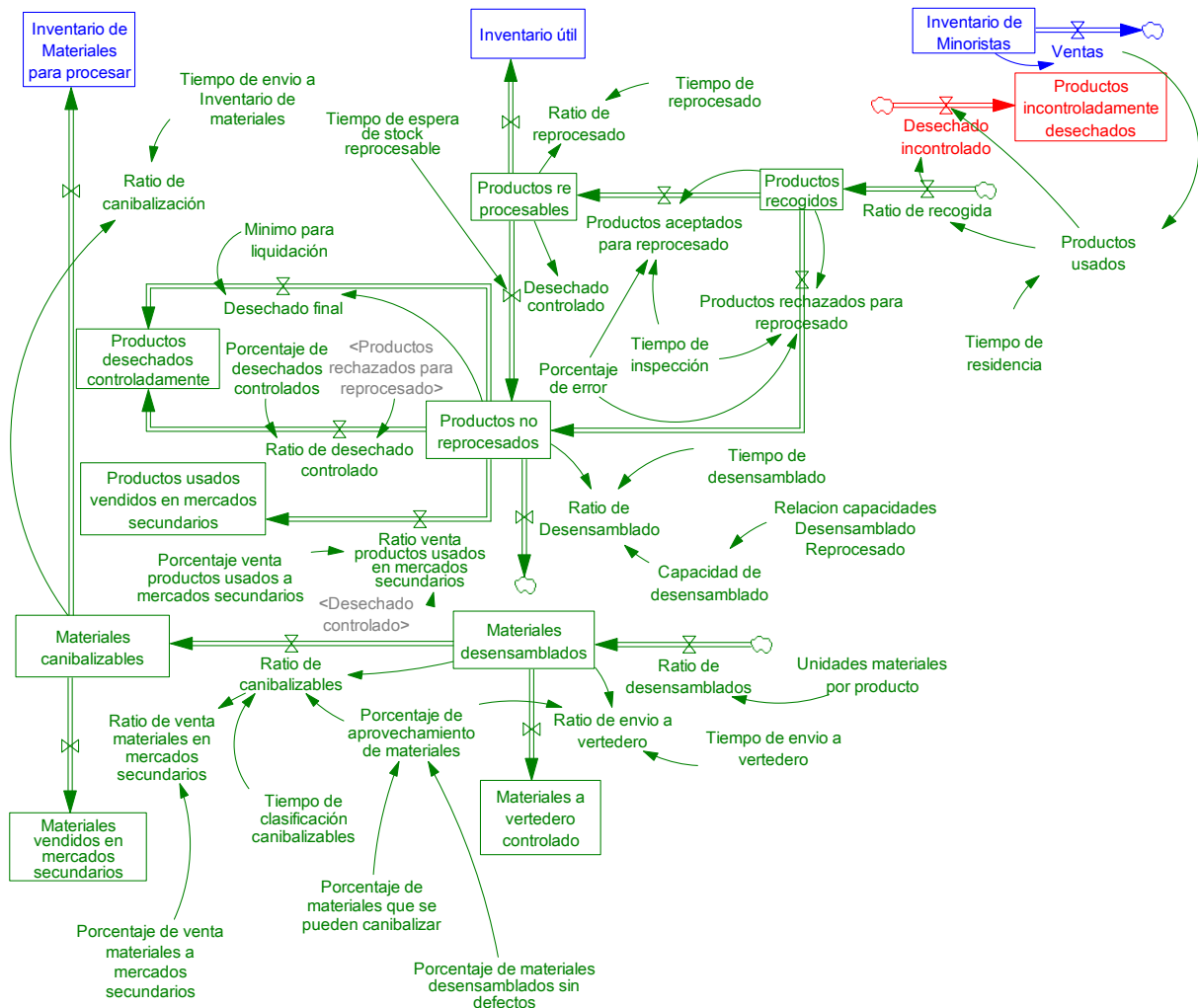
Una vez finalizada la vida útil del producto en el mercado considerado, éste será sustituido por un nuevo producto más moderno que desarrolle las mismas funciones con más prestaciones que el producto original, por lo que se ha considerado en el modelo que al final del ciclo de vida del producto éste será enviado a un mercado secundario para su liquidación a un **Precio de venta** bastante más bajo que el inicial.

Por lo tanto la denominada cadena directa abarca la circulación de materiales desde su aprovisionamiento para la fabricación del producto hasta que éste llega al consumidor final.

## 7.2. DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE MATERIALES EN LA CADENA INVERSA

El Diagrama de Fórrester que recoge el flujo de materiales de la cadena inversa se representa en la ilustración 7-2.

Ilustración 7-2 Diagrama de Forrester de la cadena inversa.



En el modelo se ha considerado que la empresa puede recuperar valor de los productos al final de su vida útil a través de la adopción de los flujos de la cadena inversa. Concretamente se han contemplado e implementado al modelo las siguientes posibilidades:

- Realización de inversiones por parte de la empresa productora para poder establecer una red de recogida de productos al final de su vida útil.
- Realización de inversiones por parte de la empresa productora para construir unas instalaciones industriales con un objetivo doble: por un lado poder reprocesar los productos recuperados y enviarlos de nuevo al canal de la cadena directa para que puedan ser vendidos como nuevos; y por otro, poder desensamblar los productos que se hayan recuperado y desechado para reprocesado, de forma que se obtengan los materiales genéricos de los que están compuestos y volver a integrarlos en la cadena directa como materiales canibalizables para construir nuevos productos.
- Enviar los productos que no son susceptibles de reprocesar o desensamblar a vertedero de forma controlada haciendo así que se cumpla con las disposiciones medioambientales que estén en vigor.
- Enviar los materiales genéricos desensamblados que no son susceptibles de canibalizarse a vertedero de forma controlada cumpliendo con las disposiciones medioambientales que estén en vigor.
- Recoger y vender en mercados de segunda mano tanto los productos recogidos que se encuentren en buenas condiciones como los materiales genéricos tras la fase de desensamblado.

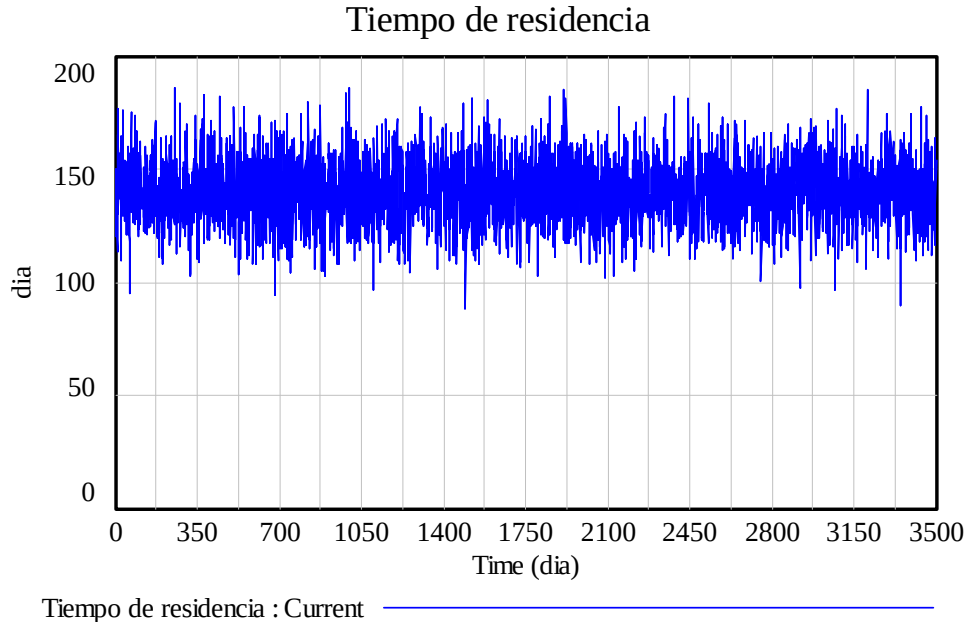
Los consumidores poseen el producto durante un tiempo llamado **Tiempo de residencia**. Una vez finalizado este tiempo se deshacen del producto desechándolo a un ritmo que se ha denominado **Producto usados**.

El **Tiempo de residencia** es variable en función del tipo de consumidor, por lo que en el modelo se tiene la posibilidad de tratarlo como una constante o como un valor aleatorio, que se distribuye aleatoriamente según una determinada distribución de probabilidad con una media y una desviación típica concretas.

En la gráfica 7-2 se muestra un ejemplo de cómo se distribuye de forma aleatoria siguiendo una distribución de probabilidad de tipo normal un **Tiempo de residencia**

con valor máximo de 210 días, valor mínimo de 70 días, media centrada en 140 días y desviación típica de 14 días.

Gráfica 7-2 Ejemplo de evolución del Tiempo de residencia



La cadena inversa comienza con la recogida de los Productos usados por parte de la empresa que los ha fabricado.

Esta recogida puede tener varios propósitos que pueden darse o no simultáneamente:

- a) Recuperar valor de los productos usados reprocesándolos e ingresándolos de nuevo en la cadena directa.
- b) Desensamblar los productos usados descomponiéndolos en los materiales genéricos para procesar y reciclarlos para recuperar su valor ingresándolos de nuevo en la cadena directa como materiales para la producción.
- c) Vender los productos y los materiales genéricos recuperados en mercados de segunda mano.
- d) Reducir el impacto ambiental de los desechos de sus productos por cuestiones de responsabilidad social o como medida para contrarrestar la imposición de algún tipo de tasa vinculada a la gestión de sus residuos.

Este último punto se aborda en el modelo mediante la recogida directa de los **Productos usados** y su entrega a vertedero controlado para tener **Productos**

**controladamente desechados** o bien se puede realizar alguna labor previa de desensamblado y clasificación antes de enviar los **Materiales a vertedero controlado**.

A medida que se van obteniendo productos fuera vida útil se ha considerado en el modelo que la empresa vaya generando una determinada **Capacidad de recogida** para los productos fuera de vida útil y los va recogiendo a un ritmo denominado **Ratio de recogida**. Se generará así un inventario de **Productos recogidos**.

Los productos que no sean recogidos constituirán el conjunto de **Productos incontroladamente desechados** que crecerán a una tasa marcada por el **Desechado Incontrolado** que a su vez será la diferencia entre los **Productos usados** y el **Ratio de recogida**.

Los **Productos recogidos** pueden ser inspeccionados durante un **Tiempo de inspección** para determinar si son aptos o no para el reprocesado.

En función del **Porcentaje de error** de estos productos se establecerá si son **Productos aceptados para reprocesado** o **Productos rechazados para reprocesado**.

Los **Productos aceptados para reprocesado** pasan a formar los **Productos reprocesables** y son reprocesados según un determinado **Ratio de reprocesado**. Este Ratio de reprocesado será función de la **Capacidad de Reprocesado** que se haya constituido y del **Tiempo de reprocesado** tras el cual los productos reprocesados vuelven a ingresar en la cadena directa aumentando el **Inventario útil**.

Los **Productos rechazados para reprocesado** pasan a formar parte de los **Productos no reprocesados**.

Para evitar que se genere una acumulación interminable de **Productos reprocesables** se ha previsto en el modelo que estos productos pasen a ser **Productos no reprocesados** si no son reprocesados en un tiempo denominado **Tiempo de espera de stock reprocesable**.

Algunos de los productos que se hayan recogido pueden estar en buenas condiciones y ser susceptibles de venderse en mercados de la segunda mano por lo que se ha previsto este hecho en el modelo.



Dentro de los **Productos no reprocesados** se ha previsto que los productos que estén en buenas condiciones se vendan en mercados de segunda mano a un ritmo denominado **Ratio de venta de productos usados en mercados secundarios**. Este ratio será función del denominado **Desechado controlado** y del llamado **Porcentaje venta de productos a mercados secundarios**.

Los **Productos no reprocesados** pueden a su vez ser desensamblados en sus materiales genéricos base. Este desensamblaje se producirá según un ritmo denominado **Ratio de Desensamblado** que depende del **Tiempo de desensamblado** y de la **Capacidad de desensamblado** disponible que estará relacionada con la **Capacidad de reprocesado** mediante la **Relación de capacidades Desensamblado Reprocesado**.

Tras el desensamblado se obtiene el inventario de los **Materiales Desensamblados**. Algunos de éstos materiales serán susceptibles de canibalizarse y otros no. Esto se ha valorado a través del **Porcentaje de materiales que se pueden canibalizar**.

Además los materiales que se pueden canibalizar pueden haber sufrido daños durante la fase de desensamblado por lo que se ha valorado este hecho mediante el **Porcentaje de materiales desensamblados sin defectos**.

El producto del **Porcentaje de materiales que se pueden canibalizar** por el **Porcentaje de materiales desensamblados sin defectos** nos dará el **Porcentaje de aprovechamiento de materiales**.

Los materiales desensamblados que no son aptos para la canibalización se envían a vertedero controlado según el **Ratio de envío a vertedero** que será función del **Tiempo de envío a vertedero**. Estos materiales en el vertedero constituirán los **Materiales a vertedero controlado**.

Los materiales aptos para la canibalización después de un tiempo de clasificación de los mismos denominado **Tiempo de clasificación canibalizables** generan el inventario de **Materiales canibalizables**. Este inventario crece a un ritmo denominado **Ratio de canibalizables**.

Estos materiales pueden ser enviados al **Inventario de Materiales para procesar** después de un **Tiempo de envío a Inventario materiales**. Esto se produce a un ritmo denominado **Ratio de canibalización**.

Al igual que se comentó anteriormente con los productos, se ha previsto también que los materiales desensamblados puedan ser vendidos en mercados secundarios. Esta venta se producirá a una tasa llamada **Ratio venta materiales en mercados secundarios** que será función del **Ratio de canibalizables** y de un parámetro denominado **Porcentaje de venta de materiales a mercados secundarios**.

Se cierra por tanto así la cadena inversa que comienza con la recogida de los productos usados y finaliza con la reinserción de los materiales o productos en la cadena directa, con su comercialización en mercados de segunda mano o con su deposición en vertedero controlado según se considere.

### 7.3. DESCRIPCIÓN DE FLUJOS DE MATERIALES POR LIQUIDACIÓN.

El Diagrama de Fórrester que recoge el flujo de materiales por liquidación se representa en la ilustración 7-3.

A medida que la demanda de productos descende y se acerca el final del ciclo de vida del producto, éste va perdiendo valor y para poder recuperar valor se ha previsto que éste sea comercializado en los mercados secundarios, donde se colocará a un precio de liquidación inferior al normal para poder liquidar los inventarios y obtener unos últimos ingresos por ventas.

Cuando la demanda descende el sistema tiende hacia que cada uno de los eslabones de la cadena (Fábrica, Distribuidores, Mayoristas y Minoristas) reduzca paulatinamente sus inventarios.

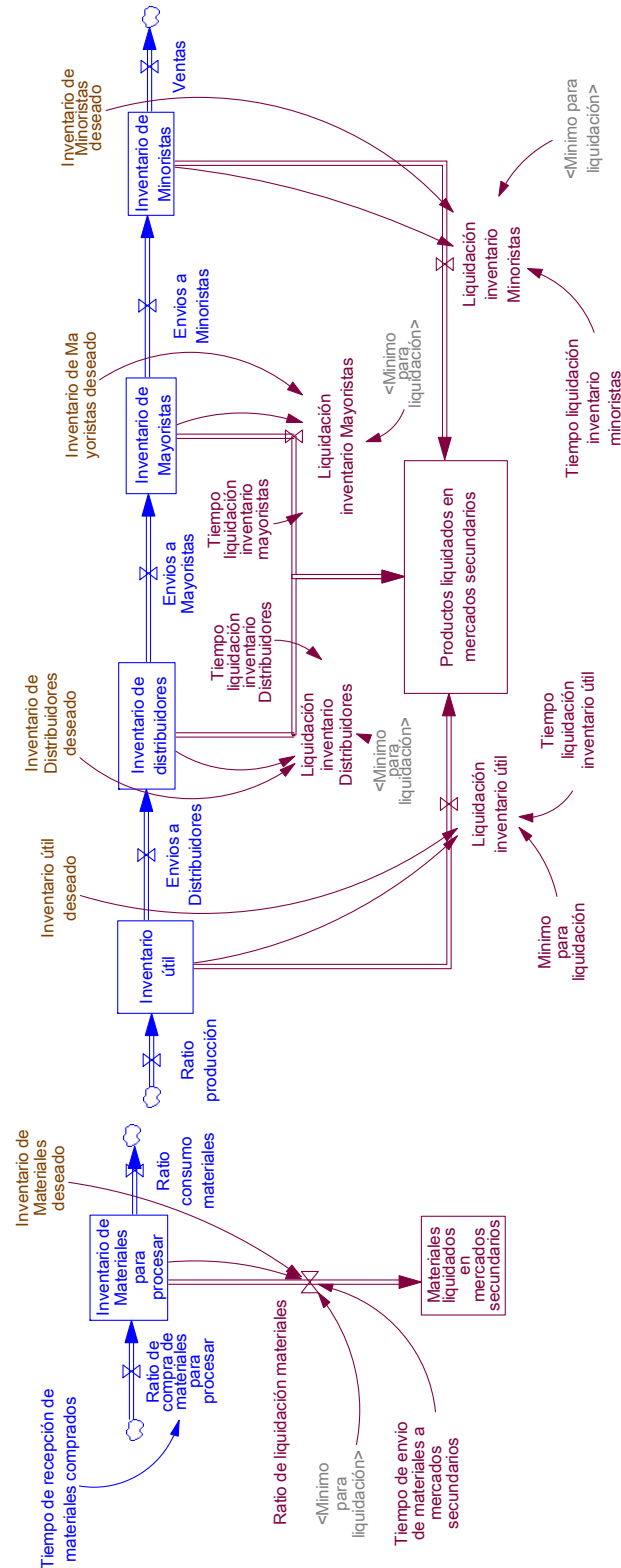
Se ha previsto en el modelo que si las expectativas de demanda caen por debajo de un valor llamado **Mínimo para liquidación** los productos dejarán de colocarse en la cadena directa y pasarán a liquidarse en los mercados secundarios a precio de liquidación.

Los primeros en comenzar la liquidación serán los primeros en detectar la caída de demanda y por ello los más próximos a los clientes, los Minoristas.

Cuando el **Inventario de Minoristas deseado** cae por debajo del **Mínimo para liquidación** se comienza a enviar el producto a los mercados secundarios a un ritmo marcado por el ratio denominado **Liquidación inventario Minoristas**. Este inventario

tardará en liquidarse un tiempo que se ha llamado **Tiempo liquidación inventario Minoristas**.

Ilustración 7-3 Diagrama de Forrester de los flujos de materiales por liquidación.



Por otra parte cuando el **Inventario de Mayoristas deseado** cae por debajo del **Mínimo para liquidación** se envía el producto a los mercados secundarios a un ritmo marcado por el ratio denominado **Liquidación inventario Mayoristas**. Este inventario tardará en liquidarse un tiempo que se ha llamado **Tiempo liquidación inventario Mayoristas**.

Siguiendo con la cadena cuando el **Inventario de Distribuidores deseado** cae por debajo del **Mínimo para liquidación** se comienza a enviar el producto a los mercados secundarios a un ritmo marcado por el ratio denominado **Liquidación inventario Distribuidores**. Este inventario tardará en liquidarse un tiempo que se ha llamado **Tiempo liquidación inventario Distribuidores**.

Finalmente cuando el **Inventario de útil deseado** cae por debajo del **Mínimo para liquidación** se envía el producto a los mercados secundarios a un ritmo marcado por el ratio denominado **Liquidación inventario útil**. Este inventario tardará en liquidarse un tiempo que se ha llamado **Tiempo liquidación inventario útil**.

El conjunto de productos enviados a mercados secundarios constituirá un inventario denominado **Productos enviados a mercados secundarios**.

De igual manera que con los productos, también se liquidarán los materiales para procesado.

Cuando el **Inventario de Materiales deseado** cae por debajo del **Mínimo para liquidación** se comienzan a enviar los materiales a los mercados secundarios a un ritmo marcado por el ratio denominado **Ratio de liquidación de materiales**. Este inventario tardará en liquidarse un tiempo que se ha llamado **Tiempo de envío de materiales a mercados secundarios**.

El conjunto de materiales enviados a mercados secundarios constituirá un inventario denominado **Materiales enviados a mercados secundarios**.

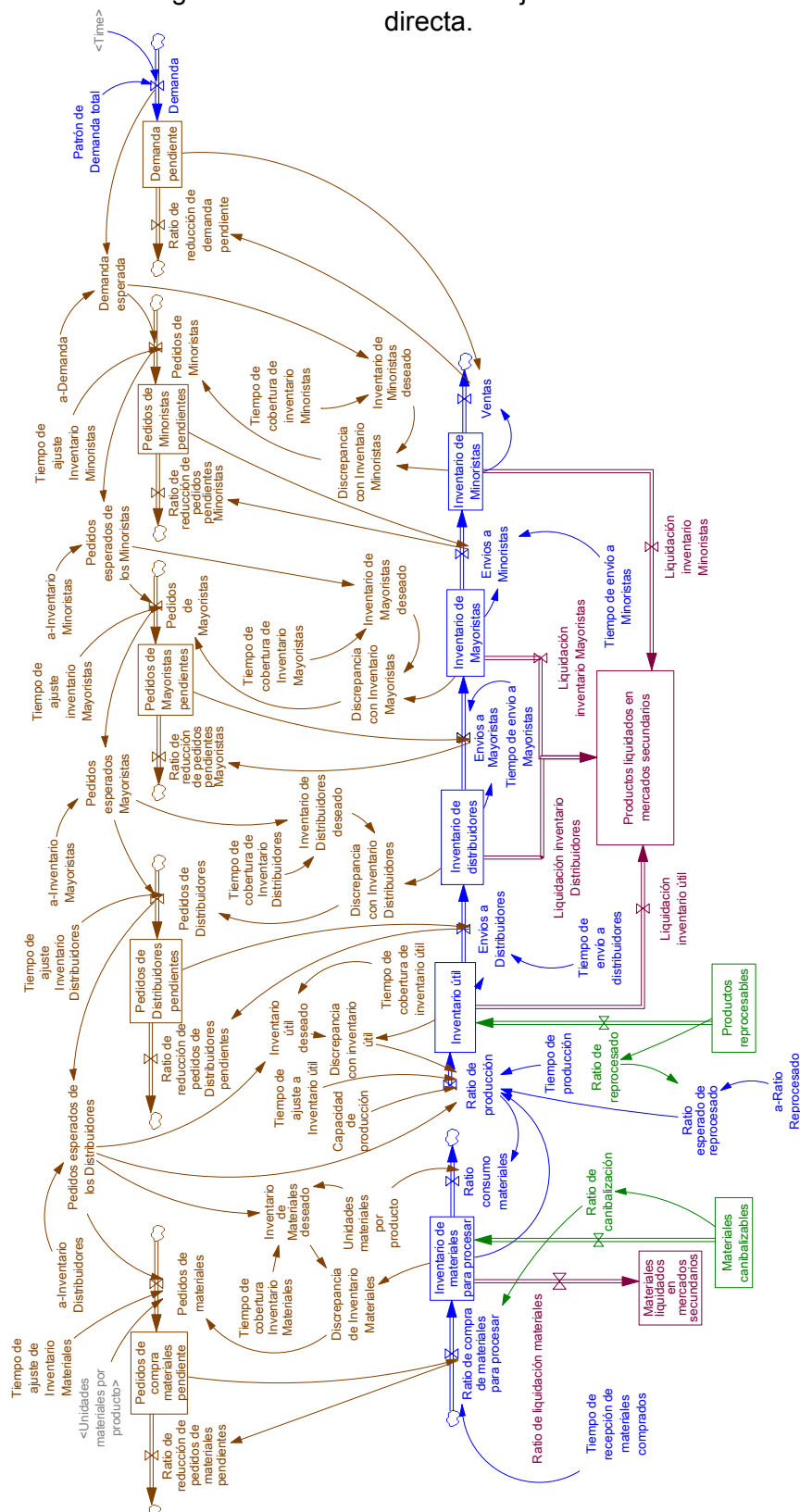


## 8. DESCRIPCIÓN DE LOS FLUJOS DE INFORMACIÓN

## 8.1. FLUJOS DE INFORMACIÓN VINCULADOS A LA CADENA DIRECTA

El Diagrama de Fórrester que recoge el flujo de información vinculados a la cadena directa se representa en la ilustración 8-1.

Ilustración 8-1 Diagrama de Forrester de los flujos de información de la cadena directa.



Ante la solicitud de los consumidores marcada por la **Demanda** los productos se van vendiendo según se van realizando las **Ventas**.

La **Demanda pendiente** será aquella que no se ha podido atender a través de las **Ventas**.

Tenemos por tanto que:

**Demanda pendiente = Demanda – Ventas.**

Dado que en el modelo las **Ventas** están integradas en la cadena directa para los flujos de información se hace necesario disponer de una variable auxiliar que es igual a las **Ventas** y que se denomina **Ratio de reducción de demanda pendiente**.

Tenemos por tanto que:

**Ratio de reducción de demanda pendiente= Ventas.**

Para la estimación de la demanda por parte de los escalones de la cadena directa se ha empleado el modelo de pronóstico de promedio móvil ponderado exponencialmente, más comúnmente denominado como suavizado exponencial.

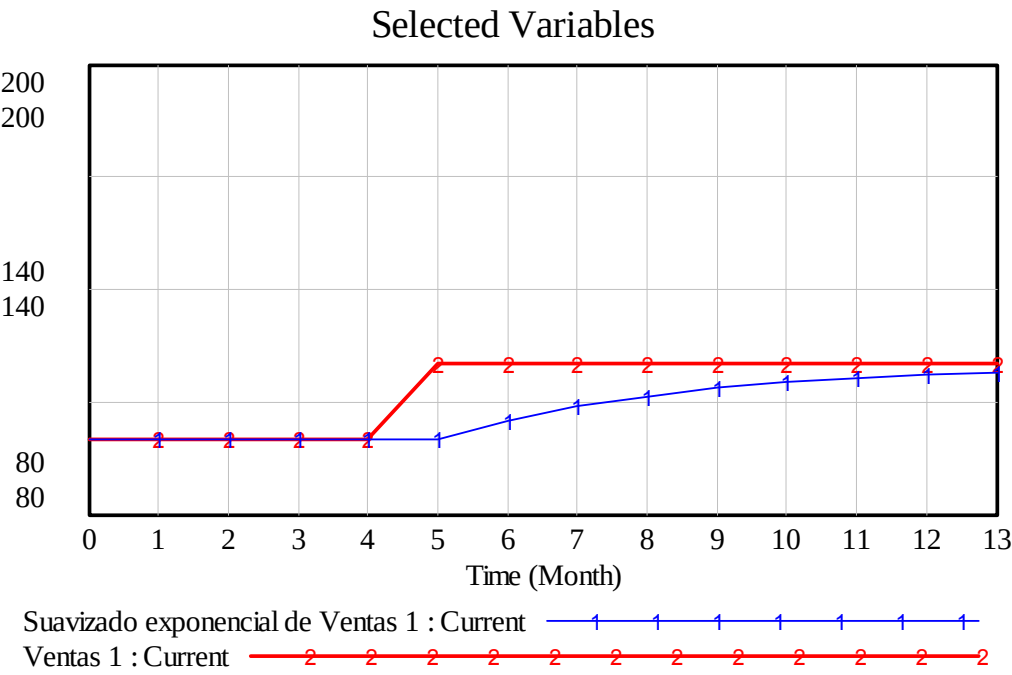
En el suavizado exponencial para cualquier periodo de tiempo  $t \geq 1$  el pronóstico para el período  $t+1$ , identificado como  $\hat{y}_{t+1}$ , es una suma ponderada de las ventas observadas en el período  $t$  ( $y_t$ ) y del pronóstico para el período  $t$  ( $\hat{y}_t$ ). El factor de ponderación se denomina  $\alpha$ .

La expresión general del suavizado exponencial es:

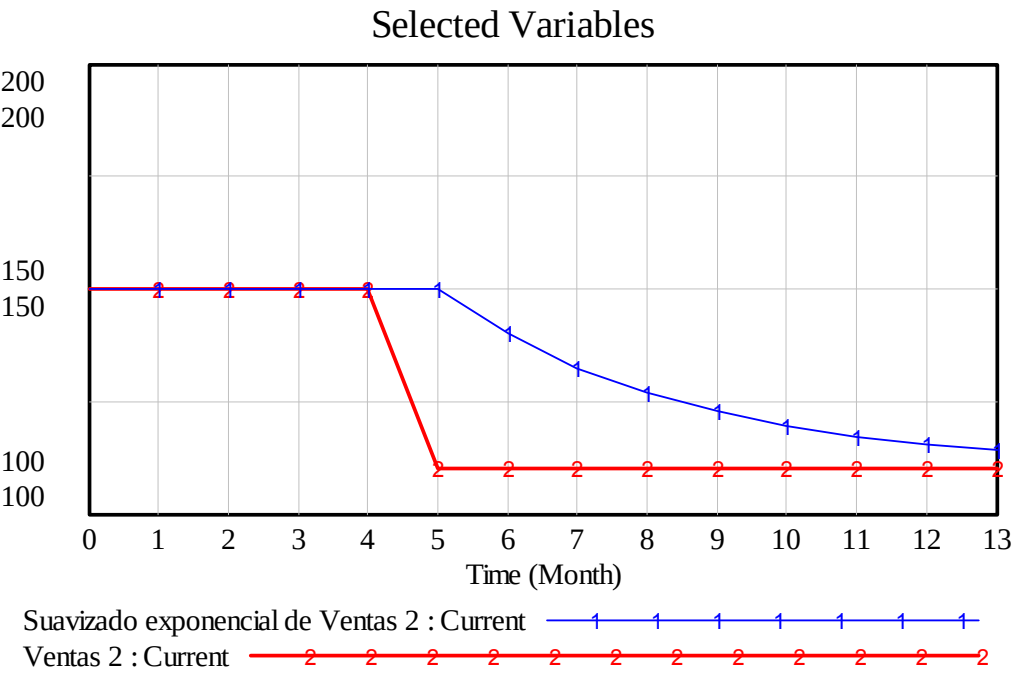
$$\hat{y}_{t+1} = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot \hat{y}_t$$

Este tipo de modelo de pronóstico recoge adecuadamente las inercias propias del sistema tal y como se refleja en los ejemplos que se recogen en las gráficas 8-1, 8-2 y 8-3 siguientes

Gráfica 8-1 Ejemplo de suavizado exponencial aplicado a un aumento de las ventas con  $\alpha=0,25$ .

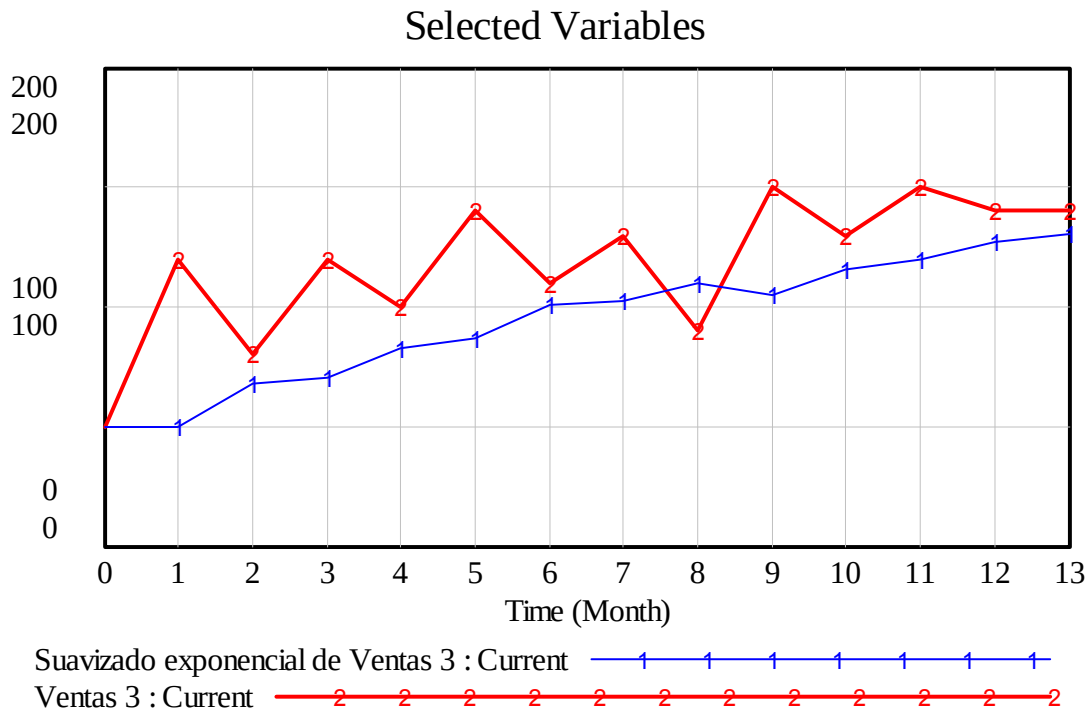


Gráfica 8-2 Ejemplo de suavizado exponencial aplicado a un descenso de las ventas con  $\alpha=0,25$ .





Gráfica 8-3 Ejemplo de suavizado exponencial aplicado a un patrón de las ventas variable con  $\alpha=0,25$ .



En el simulador VENSIM existe un comando denominado SMOOTH que permite obtener directamente el suavizado exponencial en función de la serie de datos que se pretenda suavizar y del período de ajuste. Este período de ajuste se corresponde matemáticamente con  $1/\alpha$  y representa el retraso en el pronóstico.

Los Minoristas van estimando la **Demanda** según el suavizado exponencial de la misma con un período de retraso que se corresponde con las últimas referencias de demanda. La **Demanda esperada** es por tanto igual al suavizado exponencial de la **Demanda** y con un retraso de unos días, que en el modelo se ha denominado **a-Demanda**.

Es importante indicar que todos los inventarios considerados siguen un modelo de suministro gradual no de pedido simple, por lo que no hay envíos puntuales de suministros sino que éstos se van produciendo de forma gradual a medida que se van consumiendo.

El **Inventario de Minoristas deseado** será igual a la **Demanda esperada** por el **Tiempo de cobertura de inventario minoristas**, que es el período de su tiempo de suministro.

El **Inventario de los Minoristas** será igual a su inventario inicial más los **Envíos a Minoristas** y menos las **Ventas**, y en última instancia menos la **Liquidación inventario Minoristas**.

Las **Ventas** se producen a un ritmo que trata de satisfacer la **Demanda pendiente**, pero teniendo en cuenta el **Inventario de Minoristas** disponible ya que no se puede servir un producto del que no se dispone de ninguna unidad.

Por ello el criterio seguido es el siguiente:

- Si el **Inventario de Minoristas** es mayor a la **Demanda pendiente** se cubrirá estrictamente esta última.
- Si el **Inventario de Minoristas** es menor a la **Demanda pendiente** se servirá todo el disponible a pesar de ser insuficiente para cubrir la **Demanda pendiente**.

La **Discrepancia con Inventario Minoristas** mide la diferencia entre el **Inventario de Minoristas deseado** y el **Inventario de Minoristas**. Esto será de suma importancia para determinar los pedidos a realizar, por ello el criterio seguido será el siguiente:

- Si el **Inventario de Minoristas deseado** es mayor al **Inventario de Minoristas** disponible se tendrá en cuenta esta diferencia para efectuar los pedidos.
- Si el **Inventario de Minoristas deseado** fuera menor al **Inventario de Minoristas** disponible no se realizará pedido alguno.

El **Tiempo de ajuste Inventario Minoristas** es el plazo para corregir las discrepancias con el **Inventario de Minoristas** a través de los pedidos.

Los **Pedidos de Minoristas** se producen a un ritmo igual a la **Demanda esperada** más la **Discrepancia con Inventario Minoristas** entre el **Tiempo de ajuste Inventario Minoristas**. A medida que se estabiliza la **Demanda** el término **Discrepancia con Inventario Minoristas/Tiempo de ajuste Inventario Minoristas** va reduciéndose quedando sólo la **Demanda esperada**.

Los **Pedidos de Minoristas pendientes** son la diferencia entre los **Pedidos de Minoristas** y el **Ratio de reducción de pedidos pendientes Minoristas**; es decir, los pedidos que se van satisfaciendo y que coinciden con los **Envíos a Minoristas**.

Los **Pedidos esperados de los Minoristas** son iguales a los **Pedidos de Minoristas**, pero los datos llegan a los pronósticos de los Mayoristas con un retraso de unos días. El parámetro de este retraso se ha denominado **a-Inventario Minoristas**.

Los pedidos de los Mayoristas a los Minoristas tardan un tiempo denominado **Tiempo de envío a Minoristas** tal y como se comentó anteriormente.

Los **Envíos a Minoristas** tratarán de cubrir los **Pedidos de Minoristas pendientes** y se realizarán según el siguiente criterio:

- Si hay un **Inventario de Mayoristas** mayor a los **Pedidos de Minoristas pendientes** se enviarán a un ritmo igual a **Pedidos de Minoristas pendientes** entre el **Tiempo de envío a Minoristas**.
- Si el **Inventario de Mayoristas** es menor a los **Pedidos de Minoristas pendientes** se enviará todo el disponible a un ritmo igual al **Inventario de Mayoristas** entre el **Tiempo de envío a Minoristas**.
- En caso de no haber **Pedidos de Minoristas pendientes** no se enviará nada.

El **Inventario de Mayoristas deseado** será igual a los **Pedidos esperados de los Minoristas** por el **Tiempo de cobertura de Inventario Mayoristas** que es en este caso el período de su tiempo de suministro.

El **Inventario de Mayoristas** será igual a los **Envíos a Mayoristas** menos los **Envíos a Minoristas** y en última instancia menos la **Liquidación de Inventario Mayoristas**.

La **Discrepancia con Inventario Mayoristas** será quien regule los **Pedidos de Mayoristas**. El criterio a seguir será el siguiente:

- Si el **Inventario de Mayoristas deseado** es mayor al **Inventario de Mayoristas** disponible se pedirá la diferencia.
- En caso contrario no será necesario realizar pedidos al ser el **Inventario de Mayoristas** disponible suficiente para satisfacer los **Pedidos esperados de los Minoristas**.

El **Tiempo de ajuste Inventario Mayoristas** es el plazo para corregir la **Discrepancia con Inventario Mayoristas** a través de los pedidos.

Los **Pedidos de Mayoristas** serán igual a los **Pedidos esperados de Minoristas** más un término que será la **Discrepancia con Inventario Mayoristas** entre el **Tiempo de ajuste inventario Mayoristas**. Este término se irá reduciendo al estabilizarse los **Pedidos esperados de los Minoristas**.

Los **Pedidos de Mayoristas pendientes** son la diferencia entre los **Pedidos de Mayoristas** y el **Ratio de reducción de Pedidos pendientes Mayoristas**, que son los pedidos que se van satisfaciendo y que coinciden con los **Envíos a Mayoristas**.

Los **Pedidos esperados de Mayoristas** son iguales a los **Pedidos de Mayoristas** pero los datos llegan a los pronósticos de los Distribuidores con un retardo. El parámetro de retraso lo hemos denominado **a-Inventario Mayoristas**.

Los **Pedidos de los Mayoristas** a los Distribuidores tardan un tiempo en llegar que se ha denominado **Tiempo de Envío a Mayoristas**.

Los **Envíos a Mayoristas** tratan de cubrir los **Pedidos de Mayoristas pendientes** y se realizan a un ritmo que seguirá el siguiente criterio:

- Si hay un **Inventario de Distribuidores** mayor a los **Pedidos de Mayoristas pendientes** se enviarán a un ritmo igual a **Pedidos de Mayoristas pendientes** entre el **Tiempo de envío a Mayoristas**.
- Si el **Inventario de Distribuidores** es menor que los **Pedidos de Mayoristas pendientes** se enviará todo el **Inventario de Distribuidores** a un ritmo igual a **Inventario de Distribuidores** entre el **Tiempo de envío a Mayoristas**.
- En caso de no haber **Pedidos de Mayoristas pendientes** no se enviará nada.

El **Inventario de Distribuidores deseado** será igual a los **Pedidos esperados Mayoristas** por el **Tiempo de cobertura de Inventario Distribuidores** que es el período de su tiempo de suministro.

El **Inventario de Distribuidores** será igual a los **Envíos a Distribuidores** menos los **Envíos a Mayoristas** y finalmente menos la **Liquidación inventario Distribuidores**.

La **Discrepancia con Inventario Distribuidores** será quien regule los **Pedidos de Distribuidores** a Fábrica contra su **Inventario útil**. El criterio seguido es el siguiente:

- Si el **Inventario de Distribuidores deseado** es mayor al **Inventario de Distribuidores** disponible se pedirá la diferencia entre ambos.
- En caso contrario no será necesario realizar pedidos al ser el **Inventario de Distribuidores** disponible suficiente para satisfacer los **Pedidos esperados de los Mayoristas**.

El **Tiempo de ajuste Inventario Distribuidores** es el plazo que transcurre para corregir la **Discrepancia con Inventario Distribuidores**.

Los **Pedidos de Distribuidores** se producen a un ritmo igual a los **Pedidos esperados de Mayoristas** más un término que es la **Discrepancia con Inventario Distribuidores** entre el **Tiempo de ajuste Inventario Distribuidores**.

Los **Pedidos de Distribuidores pendientes** son la diferencia entre los **Pedidos de Distribuidores** y el **Ratio de reducción de pedidos de Distribuidores pendientes**, es decir los pedidos que se van satisfaciendo y que coinciden con los **Envíos a Distribuidores**.

Los **Pedidos esperados de los Distribuidores** son iguales a los **Pedidos de Distribuidores** pero los datos para los pronósticos llegan con un retraso propio del suavizado exponencial. El parámetro de retraso se ha denominado **a-Inventario Distribuidores**.

Los pedidos tardan en llegar a los Distribuidores un tiempo denominado **Tiempo de Envío a Distribuidores**.

Los **Envíos a Distribuidores** tratan de cubrir los **Pedidos de Distribuidores pendientes** y se realizarán a un ritmo marcado por el siguiente criterio:

- Si el **Inventario útil** es mayor a los **Pedidos de Distribuidores pendientes** se enviarán a un ritmo igual a **Pedidos de Distribuidores pendientes** entre el **Tiempo de envío a Distribuidores**.
- Si el **Inventario útil** es menor que los **Pedidos de Distribuidores pendientes** se enviará todo el **Inventario útil** disponible a una tasa igual a **Inventario útil** entre **Tiempo de envío a Distribuidores**.
- En caso de no haber **Pedidos de Distribuidores pendientes** no se enviará nada.

El **Inventario útil deseado** es igual a los **Pedidos esperados de Distribuidores** por el **Tiempo de cobertura de Inventario útil** que es el período de su stock de seguridad.

El **Inventario útil** es igual al **Ratio de producción** más el **Ratio de reprocesado** menos los **Envíos a Distribuidores** y finalmente menos la **Liquidación de Inventario útil**.

La **Discrepancia con Inventario útil** es la diferencia entre el **Inventario útil deseado** y el **Inventario útil** disponible.

La fábrica cuenta con una determinada **Capacidad de producción** que expresa el límite máximo de unidades de producto que se pueden fabricar por unidad de tiempo.

El **Tiempo de ajuste a Inventario útil** es el período de tiempo necesario en la fábrica para corregir la **Discrepancia con Inventario útil**.

Los productos tardan en fabricarse un período de tiempo determinado que se ha denominado **Tiempo de producción**.

Se ha considerado que cada producto a fabricar esté formado por un determinado número de unidades materiales genéricas. Esto se ha considerado en un parámetro denominado **Unidades materiales por producto**.

El **Ratio de producción** adoptará distintos valores según el siguiente criterio:

- Primero se adoptará el mínimo entre los siguientes valores:
  - o La producción que se pueda realizar con los materiales disponibles en el tiempo de producción, es decir, el **Inventario de Materiales para procesar** dividido entre las **Unidades materiales por producto** multiplicadas por el **Tiempo de producción**.
  - o Lo necesario para atender la demanda de los distribuidores considerando el efecto del reprocesado, es decir, los **Pedidos esperados de los Distribuidores** menos el **Ratio esperado de reprocesado** más la **Discrepancia con Inventario útil** entre el **Tiempo de ajuste de Inventario útil**. Como se puede observar si no hay **Pedidos esperados de Distribuidores** no se producirá nada.
- Seguidamente se adoptará el valor mínimo entre el valor anteriormente seleccionado y la **Capacidad de producción** puesto que ésta no puede ser sobrepasada.

- Por último se adoptará el valor máximo entre el valor seleccionado en el punto anterior y cero para evitar la producción de flujos negativos en el modelo.

El **Ratio esperado de reprocesado** coincide con el **Ratio de Reprocesado**, pero llega a planta con el retraso propio del suavizado exponencial. El parámetro de retraso se ha denominado en el modelo **a-Ratio Reprocesado**.

El **Inventario de Materiales deseado** será igual a los **Pedidos esperados de los Distribuidores** por el **Tiempo de cobertura Inventario Materiales** por las **Unidades materiales por producto**. El **Tiempo de cobertura Inventario Materiales** es el período de su tiempo de suministro.

La **Discrepancia de Inventario Materiales** será el valor máximo entre la diferencia dada por **Inventario de Materiales deseado** menos el **Inventario de Materiales para procesar** y cero.

El **Tiempo de ajuste de Inventario Materiales** es el período de tiempo necesario para corregir la **Discrepancia de Inventario Materiales**.

Los **Pedidos de Materiales** se producirán a un ritmo igual a los **Pedidos esperados de los Distribuidores** por las **Unidades materiales por producto** más la **Discrepancia de Inventario Materiales** entre el **Tiempo de ajuste de Inventario Materiales**.

Los **Pedidos de compra Materiales pendientes** serán igual a los **Pedidos de Materiales** menos el **Ratio de reducción de pedidos de Materiales pendientes**.

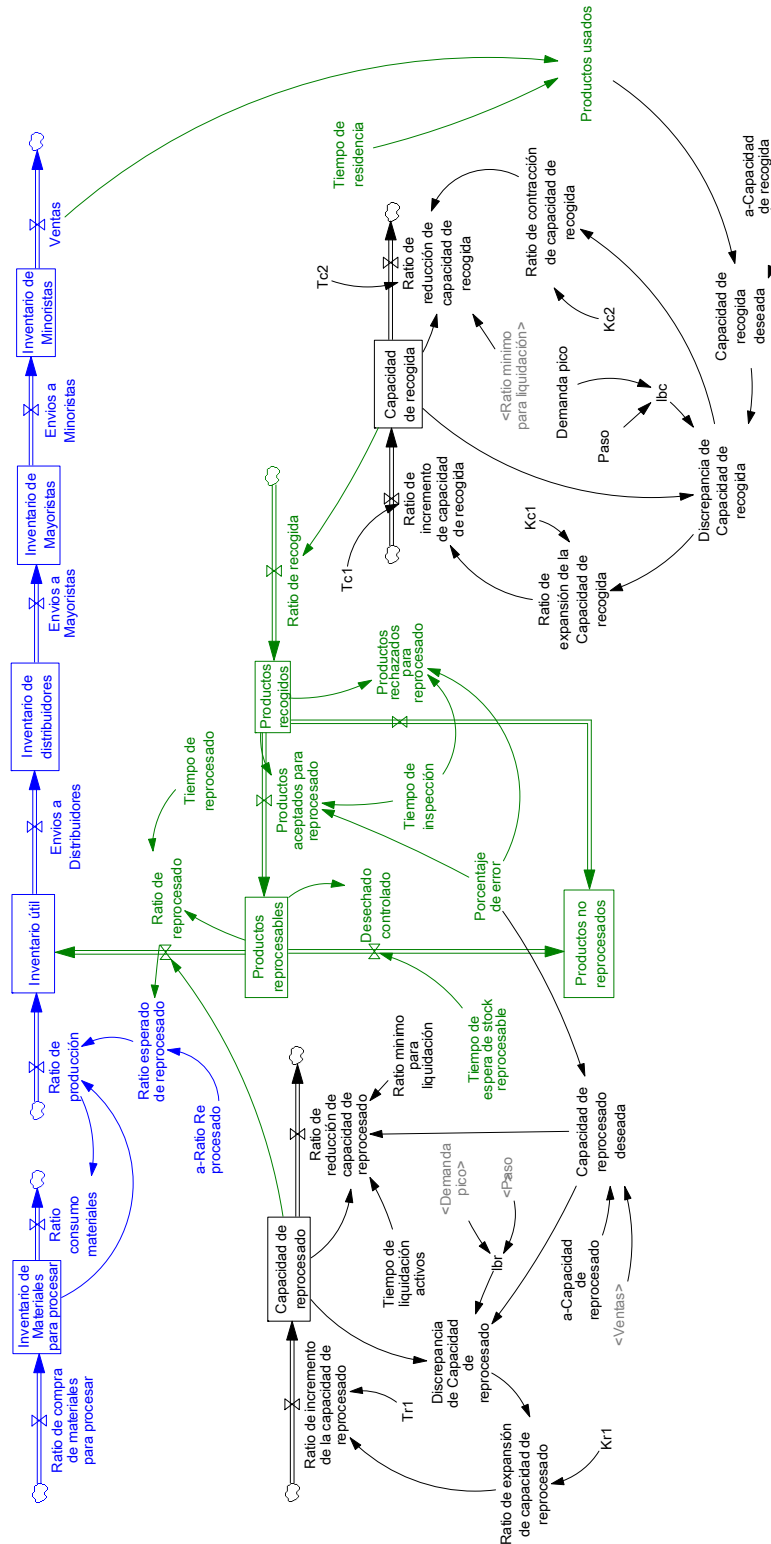
Los materiales tardan un determinado tiempo desde que se compran hasta que llegan a fábrica. Este tiempo se ha denominado **Tiempo de envío compra materiales**.

El **Ratio de compra de materiales para procesar** será igual a los **Pedidos de compra de materiales pendientes** entre el **Tiempo de envío compra materiales** menos el **Ratio de canibalización**. Es decir que se da prioridad a la canibalización frente a la compra de materiales.

## 8.2.FLUJOS DE INFORMACIÓN VINCULADOS A LA CADENA INVERSA

El Diagrama de Fórrester que recoge el flujo de información vinculados a la cadena inversa se representa en la ilustración 8-2.

Ilustración 8-2 Diagrama de Forrester de los flujos de información de la cadena inversa.





En la cadena inversa para poder comenzar la actividad es necesario que se genere una determinada **Capacidad de recogida de Productos usados**.

La **Capacidad de recogida deseada** coincidirá con los **Productos usados** pero este dato llegará con un determinado retardo para la realización de pronósticos. A este parámetro de retardo se le ha denominado **a-Capacidad de recogida**.

La **Capacidad de recogida** será igual al **Ratio de incremento de capacidad de recogida** menos el **Ratio de reducción de capacidad de recogida**.

En el modelo se ha previsto que la **Capacidad de recogida** sea dinámica, es decir que a medida que aumente el número de Productos usados crezca y que a medida que se reduzca el número de Productos usados decrezca de esta forma se ajustará a las necesidades reales.

Dado que lo habitual no es ir creciendo en **Capacidad de recogida** de forma continua sino a saltos discretos, lo que se ha previsto en el modelo es que se invierta en **Capacidad de recogida** cuando la diferencia entre la **Capacidad de recogida deseada** y la **Capacidad de recogida** supere un determinado valor que se ha llamado **lbc**.

Este valor **lbc** será igual al producto entre la variable **Paso**, que expresa un determinado porcentaje y la **Demanda pico** del producto conocida.

La **Discrepancia de Capacidad de recogida** coincidirá por tanto con:

- a) La diferencia entre **Capacidad de recogida deseada** y **Capacidad de recogida** ,sólo cuando ésta diferencia sea mayor a **lbc** ,iniciando así un proceso de crecimiento del **Ratio de expansión de la Capacidad de recogida**.
- b) En caso de que la diferencia entre **Capacidad de recogida deseada** y **Capacidad de recogida** sea inferior a **lbc** el valor de la **Discrepancia de Capacidad de recogida** adoptará el valor de cero para evitar que se produzcan variaciones en el **Ratio de expansión de la Capacidad de recogida**.

El **Ratio de expansión de la Capacidad de recogida** será igual a la **Discrepancia de Capacidad de recogida** multiplicada por un determinado coeficiente de mayoración denominado **Kc1** ,que hace que se crezca en **Capacidad de recogida** en **Kc1** veces dicha discrepancia, de modo que no sea necesario realizar inversiones

en **Capacidad de recogida** de forma muy continuada, sino que se realicen unas pocas inversiones hasta conseguir el valor de **Capacidad de recogida** necesario que es lo normal en este tipo de inversiones.

El **Ratio de incremento de capacidad de recogida** será igual al **Ratio de expansión de la Capacidad de recogida**, pero con un determinado retraso **Tc1** que expresa el tiempo necesario para realizar la inversión en **Capacidad de recogida**.

El **Ratio de contracción de capacidad de recogida** será igual a la **Discrepancia de Capacidad de recogida** multiplicada por un determinado coeficiente de mayoración denominado **Kc2**, que hace que se decrezca en **Capacidad de recogida** en **Kc2** veces dicha discrepancia de modo que no sea necesario realizar desinversiones en **Capacidad de recogida** de forma muy continuada, sino que se realicen unas pocas desinversiones hasta conseguir el valor de **Capacidad de recogida** necesario que es lo normal en este tipo de situaciones.

El **Ratio de reducción de capacidad de recogida** será igual al **Ratio de contracción de la Capacidad de recogida**, pero con un determinado retraso **Tc2**, que expresa el tiempo necesario para realizar la desinversión en **Capacidad de recogida**. Cuando la **Capacidad de recogida** es inferior a un valor determinado que se ha denominado **Ratio mínimo para liquidación** se desinvierte totalmente.

Una vez que se cuenta con la capacidad de recogida de productos usados éstos se pueden inspeccionar y clasificar, los que son susceptibles de reprocesarse y los que no. Se necesita por tanto en este punto generar una determinada capacidad de reprocesado para poder aprovechar los productos usados. De lo que se trata es de disponer de unas instalaciones que permitan realizar dos operaciones, por un lado reprocesar los productos que sean susceptibles de reprocesarse y por otro lado poder desensamblar los productos desechados en sus materiales genéricos para poder aprovechar los componentes mediante canibalización, evitando así la compra de nuevos materiales para la producción del producto.

La **Capacidad de reprocesado deseada** se corresponde con las **Ventas** menos los productos defectuosos que se han desechado. Este valor llega con un determinado retraso denominado **a-Capacidad de reprocesado**.

Es importante señalar que la diferencia para determinar la **Capacidad de reprocesado deseada** y la **Capacidad de recogida deseada** radica en los distintos objetivos de ambas acciones.

Por un lado el objetivo de recoger productos usados es doble, alimentar al reprocesado y reducir el **Desechado incontrolado**.

En cambio el único objetivo del reprocesado es atender a las **Ventas** empleando el mayor número de unidades reprocesadas para ahorrar lo máximo posible en el proceso productivo. Por ello una vez que caen las ventas el reprocesado deja de tener sentido y en cambio la recogida no.

La **Capacidad de reprocesado** será igual al **Ratio de incremento de capacidad de reprocesado** menos el **Ratio de reducción de capacidad de reprocesado**.

Se ha previsto en el modelo que la **Capacidad de reprocesado** sea dinámica, es decir que a medida que aumente el número de **Ventas** crezca. Como en este tipo de inversiones de activos fijos no es habitual la desinversión por etapas, como sucedía con la capacidad de recogida, se ha considerado que la **Capacidad de reprocesado** crezca y se establezca una vez que lo hagan las **Ventas**. Una vez que las Ventas caigan lo hará también la **Capacidad de reprocesado deseada**. Cuando la **Capacidad de reprocesado deseada** cae por debajo de un determinado valor mínimo se ha previsto la liquidación total de los activos de la planta de reprocesado. A este valor mínimo se le ha denominado **Ratio mínimo de liquidación**.

Como lo habitual no es ir creciendo en **Capacidad de reprocesado** de forma continua sino a saltos discretos, lo que se ha previsto es que invierta en **Capacidad de reprocesado** cuando la diferencia entre la **Capacidad de reprocesado deseada** y la **Capacidad de reprocesado** supere un determinado valor que se ha llamado **Ibr**.

Este valor **Ibr** será igual al producto entre la variable **Paso**, que expresa un determinado porcentaje y la **Demanda pico** del producto.

La **Discrepancia de Capacidad de reprocesado** coincidirá con:

- a) La diferencia entre **Capacidad de reprocesado deseada** y **Capacidad de reprocesado** sólo cuando ésta diferencia sea mayor a **Ibr** iniciando así un proceso de crecimiento del **Ratio de expansión de la Capacidad de reprocesado**.
- b) En caso de que la diferencia entre **Capacidad de reprocesado deseada** y **Capacidad de reprocesado** sea inferior a **Ibr** el valor de la **Discrepancia de Capacidad** de reprocesado adoptará el valor de cero para evitar que se

produzcan variaciones en el **Ratio de expansión de la Capacidad de reprocesado**.

El **Ratio de expansión de la Capacidad de reprocesado** será igual a la **Discrepancia de Capacidad de reprocesado** multiplicada por un determinado coeficiente de mayoración denominado **Kr1** que hace que se crezca en **Capacidad de reprocesado** en **Kr1** veces dicha discrepancia, de modo que no sea necesario realizar inversiones en **Capacidad de reprocesado** de forma muy continuada, sino que se realicen unas pocas inversiones hasta conseguir el valor de **Capacidad de reprocesado** necesario, que es lo normal en este tipo de inversiones.

El **Ratio de incremento de capacidad de reprocesado** será igual al **Ratio de expansión de la Capacidad de reprocesado**, pero con un determinado retraso **Tr1** que expresa el tiempo necesario para realizar la inversión en **Capacidad de reprocesado**.

Cuando la **Capacidad de reprocesado deseada** es inferior a un valor determinado que se ha denominado **Ratio mínimo para liquidación** se desinvierte totalmente.

El **Ratio de reducción de capacidad de reprocesado** será igual a cero durante el proceso de crecimiento y estabilización de la demanda y cuando la **Capacidad de reprocesado deseada** es inferior a un valor determinado, que se ha denominado **Ratio mínimo para liquidación**, se desinvierte totalmente a un ritmo marcado por **Capacidad de reprocesado** entre el **Tiempo de liquidación activos**, que es el tiempo en el que se realiza la venta de los mismos.

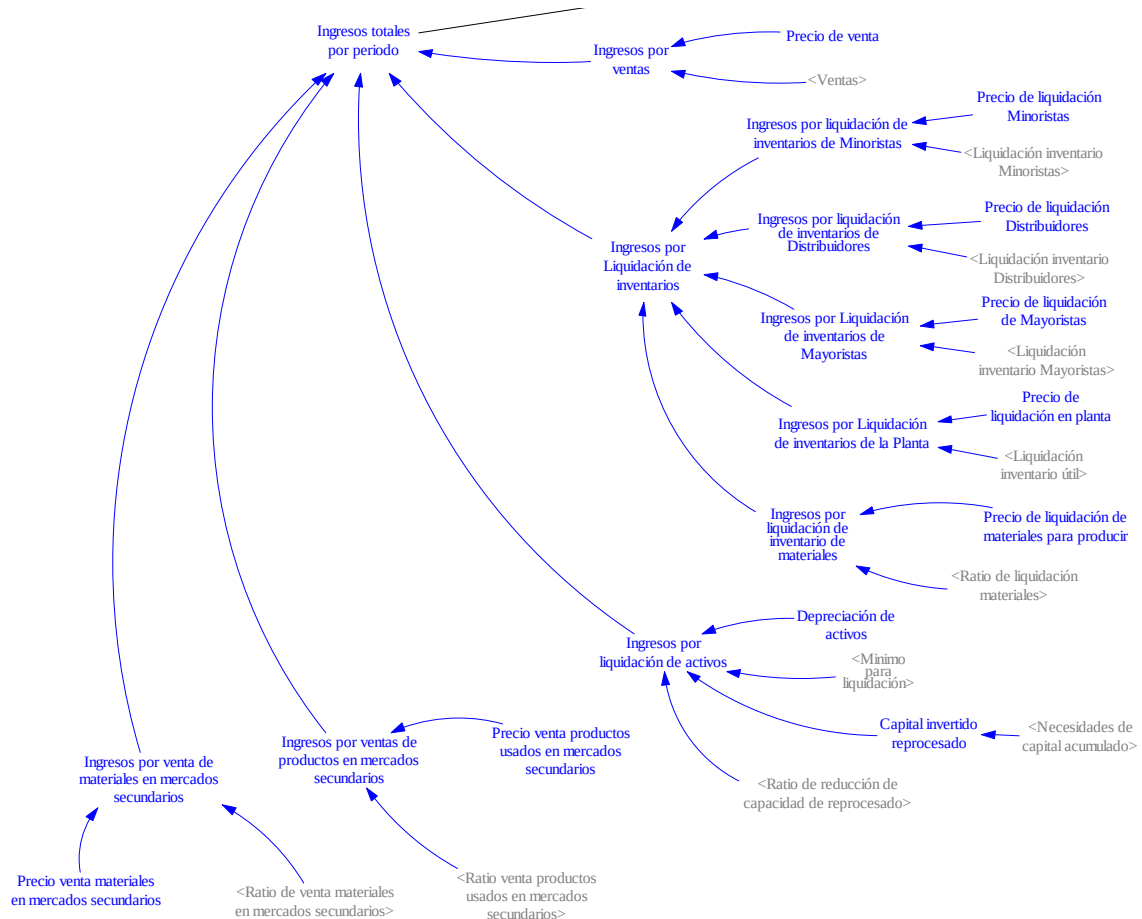


## 9. DESCRIPCIÓN DE LOS FLUJOS ECONÓMICOS

### 9.1. INGRESOS

El Diagrama de Fórrester que recoge los ingresos se representa en la ilustración 9-1.

Ilustración 9-1 Diagrama de Forrester de los flujos económicos de ingresos



El modelo prevé obtener ingresos por cinco vías diferentes que son:

- o **Ingresos por ventas**
- o **Ingresos por ventas de materiales desensamblados en mercados de segunda mano**
- o **Ingresos por ventas de productos usados en mercados de segunda mano**
- o **Ingresos por Liquidación de inventarios al final del ciclo de vida del producto**
- o **Ingresos por liquidación de activos**

La suma de estos cinco tipos de ingresos constituyen los **Ingresos totales por período**.

Los **Ingresos por ventas** son igual a las **Ventas** realizadas por el **Precio de venta del producto**.

Los **Ingresos por venta de materiales en mercados secundarios** son igual al **Ratio de venta de materiales en mercados secundarios** por el denominado **Precio venta materiales en mercados secundarios**.

A su vez el **Ratio de venta de materiales en mercados secundarios** es el producto de **Porcentaje de venta materiales a mercados secundarios** por **Ratio de canibalizables**.

Los Ingresos por ventas de productos usados en mercados de segunda mano se han denominado **Ingresos por ventas de productos en mercados secundarios** y son igual al **Precio venta productos usados en mercados secundarios** por **Ratio venta productos usados en mercados secundarios**.

El **Ratio venta productos usados en mercados secundarios** es el producto de **Desechado controlado** por **Porcentaje venta productos usados a mercados secundarios**.

Los **Ingresos por Liquidación de inventarios** son la suma de los ingresos por liquidación de inventarios de todos los escalones implicados en la cadena directa.

Los **Ingresos por Liquidación de inventarios de Minoristas** son igual a los productos de minoristas que se liquidan, que vienen expresados por la variable **Liquidación de Inventario Minoristas**, por el **Precio de liquidación Minoristas**.

La **Liquidación de Inventario Minoristas** es función del nivel del **Inventario de Minoristas deseado**, del **Inventario de Minoristas** y del **Tiempo liquidación inventario minoristas**.

- Si el **Inventario de Minoristas deseado** es menor al valor denominado **Mínimo para liquidación** entonces nos encontramos en una situación en la que el mercado ha caído por debajo de un nivel que nos indica que estamos cerca del final del ciclo vida del producto, por lo que el valor de **Liquidación de Inventario Minoristas** será igual al **Inventario de Minoristas** entre el **Tiempo liquidación inventario minoristas**.

- Si **Inventario de Minoristas deseado** es mayor al valor denominado **Mínimo para liquidación**, entonces **Liquidación de Inventario Minoristas** será cero, es decir no se liquidará el **Inventario de Minoristas**.

Los **Ingresos por Liquidación de inventarios de Mayoristas** son igual a los productos de mayoristas que se liquidan, que vienen expresados por la variable **Liquidación de Inventario Mayoristas**, por el **Precio de liquidación Mayoristas**.

La **Liquidación de Inventario Mayoristas** es función del nivel del **Inventario de Mayorista deseado**, del **Inventario de Mayoristas** y del **Tiempo liquidación inventario mayoristas**.

- Si el **Inventario de Mayoristas deseado** es menor al valor denominado **Mínimo para liquidación** entonces nos encontramos en una situación en la que el mercado ha caído por debajo de un nivel que nos indica que estamos cerca del final del ciclo vida del producto, por lo que el valor de **Liquidación de Inventario Mayoristas** será igual al **Inventario de Mayoristas** entre el **Tiempo liquidación inventario mayoristas**.
- Si **Inventario de Mayoristas deseado** es mayor al valor denominado **Mínimo para liquidación** entonces **Liquidación de Inventario Mayoristas** será cero, es decir no se liquidará el **Inventario de Mayoristas**.

Los **Ingresos por Liquidación de inventarios de Distribuidores** son igual a los productos de distribuidores que se liquidan, que vienen expresados por la variable **Liquidación de Inventario Distribuidores**, por el **Precio de liquidación Distribuidores**.

La **Liquidación de Inventario Distribuidores** es función del nivel del **Inventario de Distribuidores deseado**, del **Inventario de distribuidores** y del **Tiempo liquidación inventario Distribuidores**.

- Si el **Inventario de Distribuidores deseado** es menor al valor denominado **Mínimo para liquidación** entonces nos encontramos en una situación en la que el mercado ha caído por debajo de un nivel que nos indica que estamos cerca del final del ciclo vida del producto por lo que el valor de **Liquidación de Inventario Distribuidores** será igual al **Inventario de distribuidores** entre el **Tiempo liquidación inventario Distribuidores**.



- Si **Inventario de Distribuidores deseado** es mayor al valor denominado **Mínimo para liquidación** entonces **Liquidación de Inventario Distribuidores** será cero, es decir no se liquidará el **Inventario de distribuidores**.

Los **Ingresos por Liquidación de inventarios de Planta** son igual a los productos del inventario de la planta (**Inventario útil**) que se liquidan, que vienen expresados por la variable **Liquidación de Inventario útil**, por el **Precio de liquidación en planta**.

La **Liquidación de Inventario útil** es función del nivel del **Inventario útil deseado**, del **Inventario útil** y del **Tiempo liquidación inventario útil**

- Si el **Inventario útil deseado** es menor al valor denominado **Mínimo para liquidación** entonces nos encontramos en una situación en la que el mercado ha caído por debajo de un nivel que nos indica que estamos cerca del final del ciclo vida del producto, por lo que el valor de **Liquidación de Inventario útil** será igual al **Inventario útil** entre el **Tiempo liquidación inventario útil**.
- Si **Inventario útil deseado** es mayor al valor denominado **Mínimo para liquidación** entonces **Liquidación de Inventario útil** será cero, es decir no se liquidará el **Inventario útil**.

Los **Ingresos por Liquidación de inventarios de materiales** son igual a los materiales para producir que se liquidan que vienen expresados por la variable **Ratio de liquidación materiales**, por el **Precio de liquidación de materiales para producir**.

Análogamente a los casos anteriores el **Ratio de liquidación materiales** es función del nivel del **Inventario de Materiales deseado**, del **Inventario de Materiales para procesar** y del **Tiempo de envío de materiales a mercados secundarios**.

- Si el **Inventario de Materiales deseado** es menor al valor denominado **Mínimo para liquidación** entonces nos encontramos en una situación en la que el mercado ha caído por debajo de un nivel que nos indica que estamos cerca del final del ciclo vida del producto por lo que el valor de **Ratio de liquidación materiales** será igual al **Inventario de Materiales para procesar** entre el **Tiempo de envío de materiales a mercados secundarios**.
- Si **Inventario de Materiales deseado** es mayor al valor denominado **Mínimo para liquidación** entonces **Ratio de liquidación materiales** será cero, es decir no se liquidará el **Inventario de Materiales para procesar**.

Por último los **Ingresos por liquidación de activos** se corresponden con los ingresos obtenidos por la venta de la planta de Clasificación, Reprocesado y Desensamblado al final del ciclo de vida del producto.

Al igual que sucede con la mayor parte de los parámetros del modelo esta venta es una opción implementada, es decir se puede o no elegir la venta de la instalación o no.

En caso de que se desee vender dicha planta el valor de los **Ingresos por liquidación de activos** se producirá el día de la venta de la misma con la siguiente consideración:

- Si el **Ratio de reducción de capacidad de reprocesado** es mayor que el **Mínimo para liquidación** entonces los **Ingresos por liquidación de activos** serán igual a **Capital invertido reprocesado** por la **Depreciación de activos**.
- En caso contrario no se produce venta y los **Ingresos por liquidación de activos** serán cero.

## 9.2. COSTES DE LA ACTIVIDAD

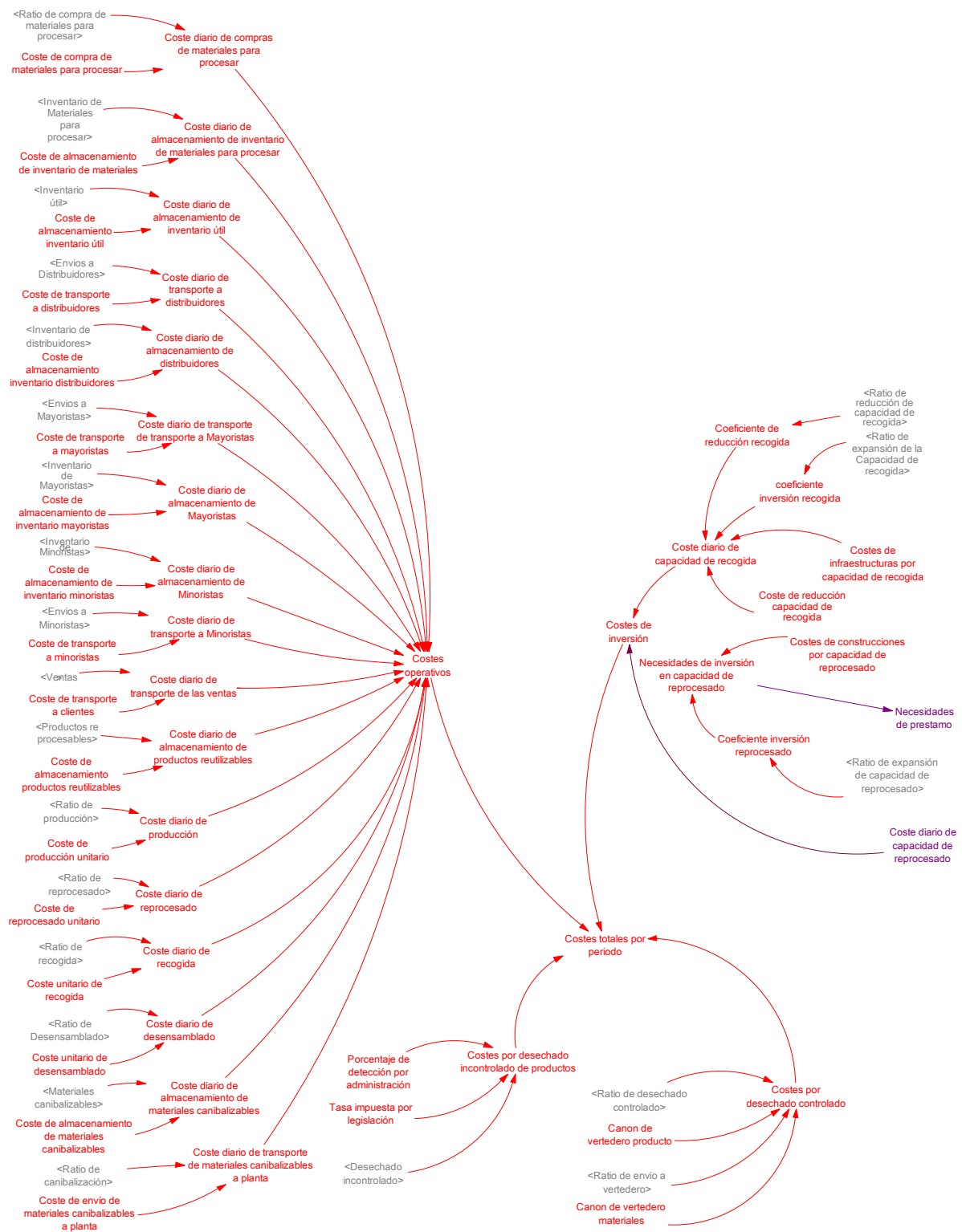
El Diagrama de Fórrester que recoge los costes de actividad se representa en la ilustración 9-2.

El modelo prevé que se producen costes por cuatro vías diferentes que son:

- o **Costes operativos**
- o **Costes de inversión**
- o **Costes por desechado incontrolado de productos**
- o **Costes por desechado controlado**

La suma de estos cuatro tipos de costes constituyen los **Costes totales por período**.

Ilustración 9-2. Diagrama de Forrester de los costes de actividad



Los **Costes operativos** se corresponden con la suma de todos los costes implicados en las operaciones de la cadena de suministro donde se han considerado en el modelo los diecisiete siguientes:

- **Coste diario de compras de materiales para procesar**
- **Coste diario de almacenamiento de inventario de materiales para procesar**
- **Coste diario de almacenamiento de inventario útil**
- **Coste diario de transporte a distribuidores**
- **Coste diario de almacenamiento de distribuidores**
- **Coste diario de transporte de transporte a Mayoristas**
- **Coste diario de almacenamiento de Mayoristas**
- **Coste diario de almacenamiento de Minoristas**
- **Coste diario de transporte a Minoristas**
- **Coste diario de transporte de las ventas**
- **Coste diario de almacenamiento de productos reutilizables**
- **Coste diario de producción**
- **Coste diario de reprocesado**
- **Coste diario de recogida**
- **Coste diario de desensamblado**
- **Coste diario de almacenamiento de materiales canibalizables**
- **Coste diario de transporte de materiales canibalizables a planta**

El **Coste diario de compras de materiales para procesar** es igual al **Ratio de compra de materiales para procesar** por el **Coste de compra de materiales para procesar**.

El **Coste diario de almacenamiento de inventario de materiales para procesar** es igual al **Inventario de Materiales para procesar** por el **Coste de almacenamiento de inventario de materiales**.

El **Coste diario de almacenamiento de inventario útil** es igual al **Inventario útil** por el **Coste de almacenamiento inventario útil**.

El **Coste diario de transporte a distribuidores** es igual a los **Envíos a Distribuidores** por el **Coste de transporte a distribuidores**.

El **Coste diario de almacenamiento de distribuidores** es igual al **Inventario de distribuidores** por el **Coste de almacenamiento de inventario distribuidores**.

**El Coste diario de transporte de transporte a Mayoristas es igual a los Envíos a Mayoristas por el Coste de transporte a mayoristas.**

**El Coste diario de almacenamiento de Mayoristas es igual al Inventario de Mayoristas por el Coste de almacenamiento inventario mayoristas.**

**El Coste diario de almacenamiento de Minoristas es igual al Inventario de Minoristas por el Coste de almacenamiento inventario minoristas.**

**El Coste diario de transporte de transporte a Minoristas es igual a los Envíos a Minoristas por el Coste de transporte a minoristas.**

**El Coste diario de transporte de las ventas es igual a las Ventas por el Coste de transporte a clientes.**

**El Coste diario de almacenamiento de productos reutilizables es igual a los Productos reutilizables por el Coste de almacenamiento productos reutilizables.**

**El Coste diario de producción es igual al Ratio de producción por el Coste de producción unitario.**

**El Coste diario de reprocesado es igual al Ratio de reprocesado por el Coste de reprocesado unitario.**

**El Coste diario de recogida es igual al Ratio de recogida por el Coste de unitario de recogida.**

**El Coste diario de desensamblado es igual al Ratio de desensamblado por el Coste de unitario de desensamblado.**

**El Coste diario de almacenamiento de materiales canibalizables es igual a los Materiales canibalizables por el Coste de almacenamiento de materiales canibalizables.**

**El Coste diario de transporte de materiales canibalizables a planta es igual al Ratio de canibalización por el Coste de envío de materiales canibalizables a planta.**

Se ha establecido en el modelo que los **Costes de Inversión** sean la suma de dos tipos de costes:

- **Coste diario de capacidad de recogida**

- **Coste diario de capacidad de reprocesado**

El **Coste diario de capacidad de recogida** es el que está vinculado al establecimiento de una determinada capacidad de recogida de productos usados.

Esta capacidad de recogida irá creciendo a medida que el producto se introduzca en el mercado, se estabilizará cuando el producto alcance su demanda normal y decrecerá cuando la demanda del producto lo haga.

El **Coste diario de capacidad de recogida** será igual a la suma de dos términos, de un lado el **Ratio de reducción de capacidad de recogida** elevado a 0,6 y multiplicado por el **Coste de reducción capacidad recogida** y por otro el **Ratio de expansión de capacidad de recogida** elevado a 0,6 y multiplicado por el **Coste de expansión de la Capacidad de recogida**. Estas expresiones provienen de la formulación empírica dada por Nahmias en (Georgiadis, Vlachos 2004).

El **Coste diario de capacidad de reprocesado** es el que está vinculado al establecimiento de una determinada capacidad de reprocesado de productos usados.

Esta capacidad de recogida irá creciendo a medida que el producto se introduzca en el mercado, se estabilizará cuando el producto alcance su demanda normal y decrecerá cuando la demanda del producto lo haga y se decida liquidar los activos de la planta de Clasificación, Reprocesado y Desensamblado.

Las **Necesidades de inversión en capacidad de reprocesado** serán igual al **Ratio de expansión de capacidad de reprocesado** elevado a 0,6 y multiplicado por el **Coste de construcciones de capacidad de reprocesado**. Esta expresión proviene también de la formulación empírica dada por Nahmias en (Georgiadis, Vlachos 2004).

Como las **Necesidades de inversión en capacidad de reprocesado** son elevadas se ha propuesto en el modelo el establecimiento de un préstamo según el modelo francés para financiar la construcción de la planta de Clasificación, Reprocesado y Desensamblado obteniendo así un plan de pagos de las cuotas asociadas a dicho préstamo. Como se pretende obtener el **Coste diario de capacidad de reprocesado** se han determinado las cuotas mensuales del préstamo y posteriormente se han dividido entre 30 para poder disponer de cuotas diarias.

El establecimiento de las condiciones del préstamo se explica con más detalle en el apartado 9.3.

Los **Costes por desechado incontrolado de productos** son igual al producto entre el **Desechado incontrolado** el **Porcentaje de detección por la administración**, parámetro que expresa la posibilidad de que la administración competente en materia medioambiental realice una inspección y detecte la existencia de productos desechados de forma incontrolada, y la **Tasa impuesta por legislación** que expresa la multa o sanción que la administración competente en materia medioambiental impone por cada producto que desechado incontroladamente que detecte. Es decir que a medida que la administración detecta que se están desechando productos de forma incontrolada impone una sanción marcada por una tasa medioambiental.

Por último los **Costes por desechado controlado** serán igual al **Canon de vertedero producto** por el **Ratio de desechado controlado** más el producto del **Ratio de envío a vertedero** por el **Canon de vertedero materiales**. Estos cánones son las tasas por deposición de los productos o materiales en los vertederos autorizados.

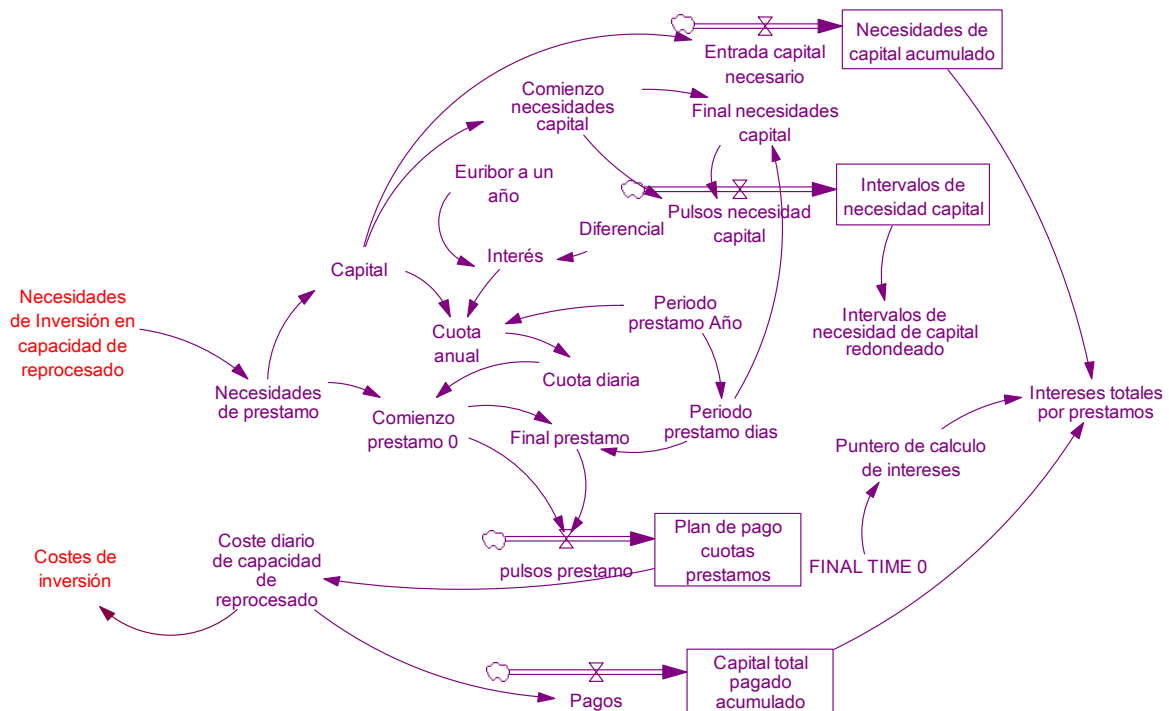
### 9.3. PRESTAMO

#### 9.3.1. Establecimiento del modelo de simulación del préstamo.

El Diagrama de Fórrester que recoge la rutina de simulación del préstamo se representa en la ilustración 9-3.

Tal y como se ha adelantado anteriormente para la construcción de la planta de Clasificación, Reprocesado y Desensamblado de productos usados es necesario disponer de un capital elevado. Dado que no es habitual que las empresas dispongan del capital necesario para afrontar la inversión se ha previsto en el modelo una subrutina que simula la concesión de un préstamo según el modelo francés, y permite hacer frente a las necesidades de capital.

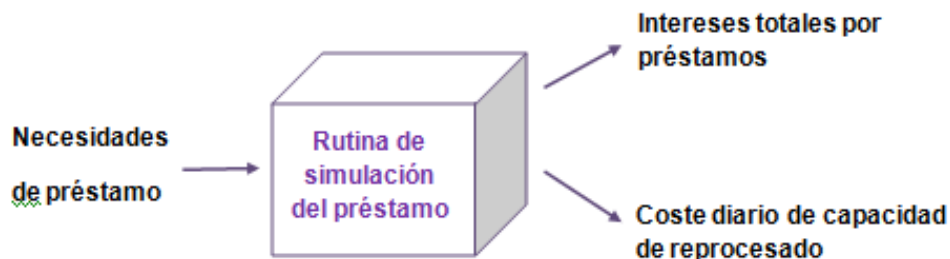
Ilustración 9-3 Diagrama de Forrester de la rutina de simulación del préstamo.



Como lo habitual es realizar los pagos de forma mensual se han calculado las cuotas correspondientes a los pagos de cada mes. Como en el modelo la base de cálculo temporal es el día, se ha supuesto que las cuotas se pagan diariamente y para ello se ha dividido entre 30 el valor de la cuota mensual, no afectando esta consideración a los intereses derivados del pago mensual.

La rutina de simulación del préstamo sigue por tanto el siguiente esquema:

Ilustración 9-4 Esquema básico de simulación del préstamo



La rutina comienza con unas **Necesidades de préstamo** que serán iguales a las **Necesidades de inversión en capacidad de reprocesado**.



Al resolver el software numéricamente el sistema de ecuaciones diferenciales se debe tener especial cuidado con que se produzcan fenómenos de truncamiento o redondeo erróneos por lo que parte de las variables implicadas en esta rutina corresponden a pasos para evitar que se produzcan dichos errores.

La variable **Capital** es igual a **Necesidades de préstamo**, pero sólo cuando es un valor positivo, así se evita el que puedan aparecer valores negativos.

El **Periodo préstamo Años** indica cual será el período para la devolución del préstamo expresado en años. **Periodo préstamo días** será igual al producto de **Periodo préstamo Años** por 360 ya que se ha considerado en el modelo trabajar con años comerciales de 360 días.

La variable **Interés** será igual al valor de **Euribor a un año** más un determinado **Diferencial**.

Con las variables anteriores se establece la **Cuota mensual** según la expresión:

$$Cuota\ mensual = \frac{\left( Capital \times \frac{Interés}{12} \right)}{1 - \left( 1 + \frac{Interés}{12} \right)^{(-12 \times Periodo\ préstamo\ Años)}}$$

Una vez calculada la **Cuota mensual** se obtiene la Cuota diaria como el cociente entre la **Cuota mensual** y 30.

**Comienzo préstamo** es una variable auxiliar que representa cuándo comienza a aplicarse la Cuota diaria para el préstamo. **Final préstamo** es una variable auxiliar que representa cuándo deja de aplicarse la Cuota diaria. Su valor es igual y opuesto al de **Comienzo préstamo** y se encuentra afectada por un retardo que representa al **Periodo préstamo días**.

La variable **pulsos préstamo** es igual a **Comienzo préstamo** más **Final préstamo**. **Plan de pago cuotas prestamos** es una variable de nivel que integra a **pulsos préstamo** y que representa ya la primera versión del plan de pago de cuotas asociado al préstamo.

El **Coste diario de capacidad de reprocesado** es igual al **Plan de pago cuotas prestamos** pero sólo cuando es positivo evitando así errores de redondeo.

El modelo está preparado para poder trabajar con más de un préstamo y proporciona los intereses asociados a dichos préstamos.

**Pagos** es una variable de flujo que es igual a **Coste diario de capacidad de reprocesado** y que considera los pagos diarios. Una vez integrada esta variable da

como resultado la variable de nivel **Capital total pagado acumulado**, variable que expresa el total de capital pagado incluyendo los intereses para todos los préstamos que el modelo simule.

**Comienzo necesidades capital** es una variable auxiliar que coincide con **Capital** y que lleva un pequeño retardo mientras que **Final necesidades capital** es igual y opuesto al de **Comienzo necesidades capital** y se encuentra afectada por un retardo que representa al **Periodo préstamo días**.

**Pulsos necesidad capital** es una variable de flujo igual a **Comienzo necesidades capital-Final necesidades capital**. Una vez integrada **Pulsos necesidad capital** se obtiene la variable de nivel **Intervalos de necesidad capital**, que tras ser redondeada se convierte en **Intervalos de necesidad de capital redondeado**. Esta es una variable informativa que expresa qué capital es necesario para cada préstamo y durante qué tiempo tiene vigencia el préstamo.

**Entrada capital necesario** es una variable de flujo que coincide con **Capital** y que tras ser integrada proporciona la variable de nivel **Necesidades de capital acumulado**, valor que expresa las necesidades originales de capital para los distintos préstamos sin considerar los intereses.

**FINAL TIME 0** es una variable que expresa cuál es el último día considerado en la simulación.

**Puntero de cálculo de intereses** es una variable auxiliar de valor 1 que nos indica qué día se calcularán los intereses correspondientes a los préstamos.

Los **Intereses totales por prestamos** serán igual al **Capital total pagado acumulado - Necesidades de capital acumulado**.

### 9.3.2. Validación del modelo de simulación del préstamo

Para verificar que la subrutina de establecimiento de préstamos funciona correctamente se han realizado tres pruebas con distintas posibilidades de préstamos contrastadas con hoja de cálculo de manera que se pueda determinar también el error que puede haber implícito debido a la resolución por cálculo numérico.

**Prueba 1.** Un único préstamo de 100.000,00 €. (Se asumen por simplificación pagos anuales).

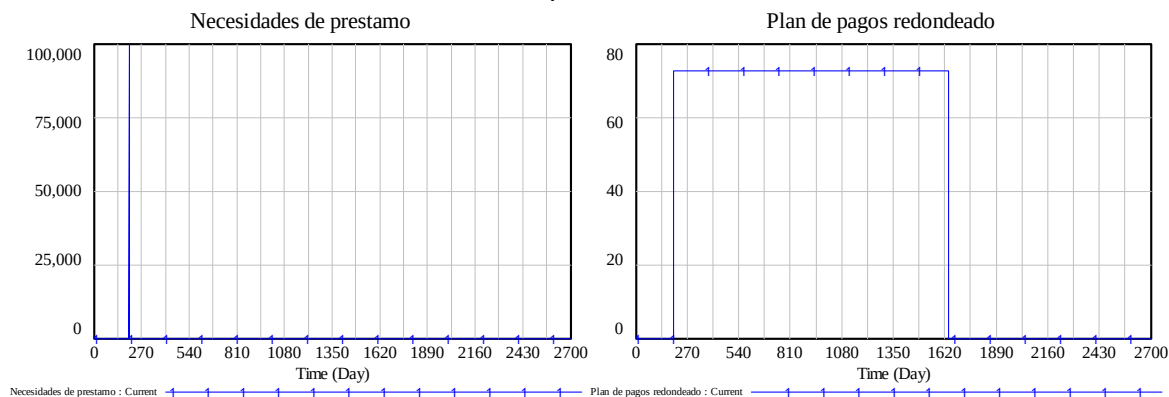
#### CARACTERISTICAS DEL PRESTAMO SOLICITADO

|                         |              |                      |
|-------------------------|--------------|----------------------|
| NECESIDADES DE PRESTAMO | 100.000,00 € | A PARTIR DEL DÍA 200 |
| PERIODO DE AMORTIZACIÓN | 4            |                      |
| EURIBOR                 | 1,50%        |                      |
| DIFERENCIA              | 0,25%        |                      |
| INTERES TOTAL           | 1,75%        |                      |

| PERIODO | PAGOS        | INTERESES  | AMORTIZACION | DEUDA PENDIENTE |
|---------|--------------|------------|--------------|-----------------|
| 0       | 26.103,24 €  |            |              | 100.000,00 €    |
| 1       | 26.103,24 €  | 1.750,00 € | 24.353,24 €  | 75.646,76 €     |
| 2       | 26.103,24 €  | 1.323,82 € | 24.779,42 €  | 50.867,34 €     |
| 3       | 26.103,24 €  | 890,18 €   | 25.213,06 €  | 25.654,29 €     |
| 4       | 26.103,24 €  | 448,95 €   | 25.654,29 €  | 0,00 €          |
| TOTALES | 104.412,95 € | 4.412,95 € | 100.000,00 € |                 |

Tenemos en el modelo por tanto una entrada de pulso de Necesidades de préstamo de 100.000,00 € en el día 200.

Gráfica 9-1 Resultados de préstamo de Prueba 1 Préstamo.



Los intereses obtenidos en la simulación son de 4.412,00 € frente a los 4.412,95 € obtenidos con hoja de cálculo. Al ser el error de 0,021% consideramos que la precisión es adecuada.

**Prueba 2.** Dos préstamos de 100.000,00 € y 80.000,00 € solicitados en períodos diferentes sin superposición de pago de cuotas. (Se asumen por simplificación pagos anuales).

#### CARACTERISTICAS DEL PRESTAMO

**SOLICITADO**

|                           |              |                      |
|---------------------------|--------------|----------------------|
| NECESIDADES DE PRESTAMO 1 | 100.000,00 € | A PARTIR DEL DÍA 200 |
| PERIODO DE AMORTIZACIÓN   | 3            |                      |
| EURIBOR                   | 1,50%        |                      |
| DIFERENCIA                | 0,25%        |                      |
| INTERES TOTAL             | 1,75%        |                      |

|                           |             |                       |
|---------------------------|-------------|-----------------------|
| NECESIDADES DE PRESTAMO 2 | 80.000,00 € | A PARTIR DEL DÍA 1500 |
| PERIODO DE AMORTIZACIÓN   | 3           |                       |
| EURIBOR                   | 1,50%       |                       |
| DIFERENCIA                | 0,25%       |                       |
| INTERES TOTAL             | 1,75%       |                       |

**CUADRO DE AMORTIZACIÓN PRESTAMO 1**

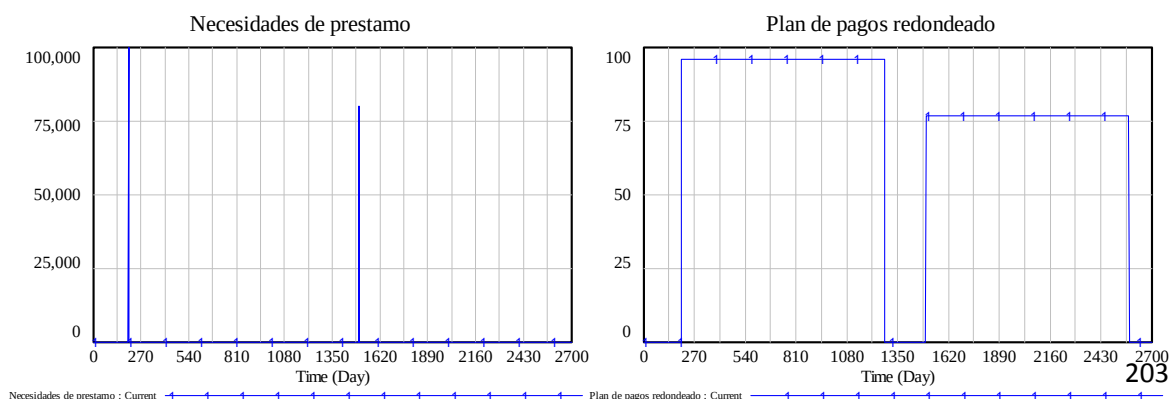
| PERIODO | PAGOS        | INTERESES  | AMORTIZACION | DEUDA PENDIENTE |
|---------|--------------|------------|--------------|-----------------|
| 0       | 34.506,75 €  |            |              | 100.000,00 €    |
| 1       | 34.506,75 €  | 1.750,00 € | 32.756,75 €  | 67.243,25 €     |
| 2       | 34.506,75 €  | 1.176,76 € | 33.329,99 €  | 33.913,26 €     |
| 3       | 34.506,75 €  | 593,48 €   | 33.913,26 €  | 0,00 €          |
| TOTALES | 103.520,24 € | 3.520,24 € | 100.000,00 € |                 |

**CUADRO DE AMORTIZACIÓN PRESTAMO 2**

| PERIODO | PAGOS       | INTERESES  | AMORTIZACION | DEUDA PENDIENTE |
|---------|-------------|------------|--------------|-----------------|
| 0       | 27.605,40 € |            |              | 80.000,00 €     |
| 1       | 27.605,40 € | 1.400,00 € | 26.205,40 €  | 53.794,60 €     |
| 2       | 27.605,40 € | 941,41 €   | 26.663,99 €  | 27.130,61 €     |
| 3       | 27.605,40 € | 474,79 €   | 27.130,61 €  | 0,00 €          |
| TOTALES | 82.816,19 € | 2.816,19 € | 80.000,00 €  |                 |

|                            | PAGOS        | INTERESES  | AMORTIZACION |
|----------------------------|--------------|------------|--------------|
| TOTALES DE AMBOS PRESTAMOS | 186.336,43 € | 6.336,43 € | 180.000,00 € |

Tenemos en el modelo por tanto una entrada de pulso de Necesidades de préstamo de 100.000,00 € en el día 200 y de 80.000,00 € en el día 1500.

**Gráfica 9-2 Resultados de préstamo de Prueba 2 Préstamo.**

Los intereses totales para los dos préstamos obtenidos en la simulación son de 6.339,00 € frente a los 6.336,43 € obtenidos con hoja de cálculo. Al ser el error de 0,04 % consideramos que la precisión es adecuada.

**Prueba 3.** Dos préstamos de 150.000,00 € y 95.000,00 € solicitados en períodos diferentes con superposición de pago de cuotas. (Se asumen por simplificación pagos anuales).

**CARACTERÍSTICAS DEL PRESTAMO  
SOLICITADO**

|                           |              |                      |
|---------------------------|--------------|----------------------|
| NECESIDADES DE PRESTAMO 1 | 150.000,00 € | A PARTIR DEL DÍA 200 |
| PERIODO DE AMORTIZACIÓN   | 3            |                      |
| EURIBOR                   | 1,50%        |                      |
| DIFERENCIA                | 0,25%        |                      |
| INTERES TOTAL             | 1,75%        |                      |

|                           |             |                      |
|---------------------------|-------------|----------------------|
| NECESIDADES DE PRESTAMO 2 | 95.000,00 € | A PARTIR DEL DÍA 800 |
| PERIODO DE AMORTIZACIÓN   | 3           |                      |
| EURIBOR                   | 1,50%       |                      |
| DIFERENCIA                | 0,25%       |                      |
| INTERES TOTAL             | 1,75%       |                      |

**CUADRO DE AMORTIZACIÓN PRESTAMO 1**

| PERIODO | PAGOS        | INTERESES  | AMORTIZACION | DEUDA<br>PENDIENTE |
|---------|--------------|------------|--------------|--------------------|
| 0       | 51.760,12 €  |            |              | 150.000,00 €       |
| 1       | 51.760,12 €  | 2.625,00 € | 49.135,12 €  | 100.864,88 €       |
| 2       | 51.760,12 €  | 1.765,14 € | 49.994,98 €  | 50.869,90 €        |
| 3       | 51.760,12 €  | 890,22 €   | 50.869,90 €  | 0,00 €             |
| TOTALES | 155.280,36 € | 5.280,36 € | 150.000,00 € |                    |

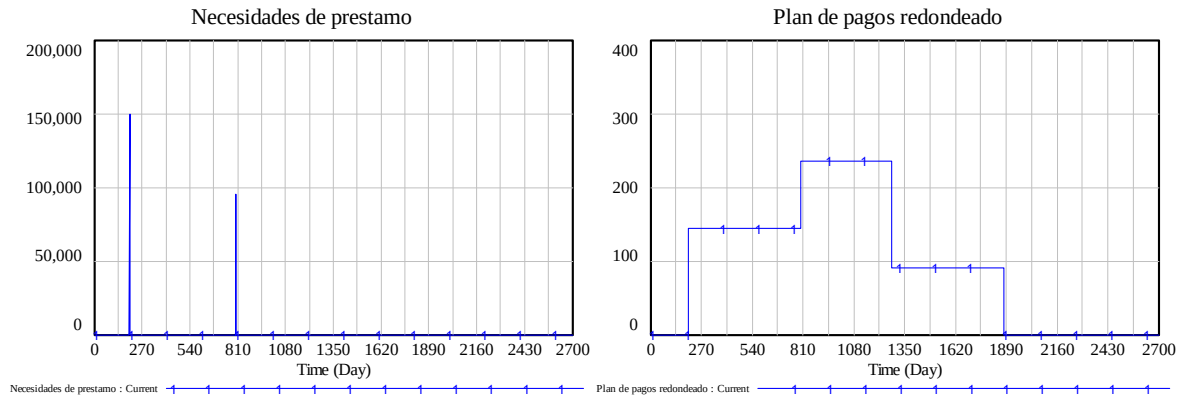
**CUADRO DE AMORTIZACIÓN PRESTAMO 2**

| PERIODO | PAGOS       | INTERESES  | AMORTIZACION | DEUDA<br>PENDIENTE |
|---------|-------------|------------|--------------|--------------------|
| 0       | 32.781,41 € |            |              | 95.000,00 €        |
| 1       | 32.781,41 € | 1.662,50 € | 31.118,91 €  | 63.881,09 €        |
| 2       | 32.781,41 € | 1.117,92 € | 31.663,49 €  | 32.217,60 €        |
| 3       | 32.781,41 € | 563,81 €   | 32.217,60 €  | 0,00 €             |
| TOTALES | 98.344,23 € | 3.344,23 € | 95.000,00 €  |                    |

|                               | PAGOS        | INTERESES  | AMORTIZACION |
|-------------------------------|--------------|------------|--------------|
| TOTALES DE AMBOS<br>PRESTAMOS | 253.624,59 € | 8.624,59 € | 245.000,00 € |

Tenemos en el modelo por tanto una entrada de pulso de Necesidades de préstamo de 150.000,00 € en el día 200 y de 95.000,00 € en el día 800.

Gráfica 9-3 Resultados de préstamo de Prueba 3 Préstamo.



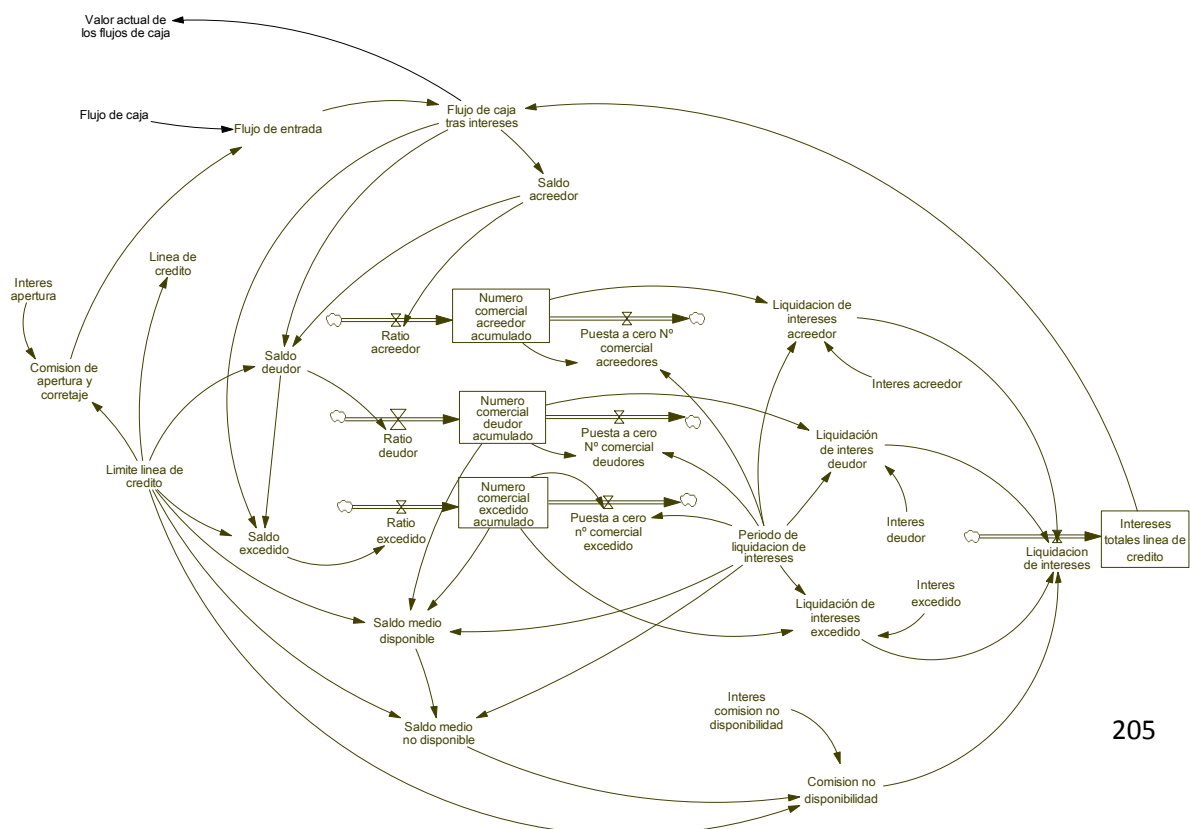
Los intereses totales para los dos préstamos obtenidos en la simulación son de 8.628,00 € frente a los 8.624,59 € obtenidos con hoja de cálculo. Al ser el error de 0,04 % consideramos que la precisión es adecuada.

## 9.4. LÍNEA DE CRÉDITO

### 9.4.1. Establecimiento del modelo de simulación de la línea de crédito

El Diagrama de Fórrester que recoge la rutina de simulación de la línea de crédito se representa en la ilustración 9-5.

Ilustración 9-5 Diagrama de Forrester de la rutina de simulación de la línea de crédito.



Tal y como se explicó en el apartado 6.1. “Consideraciones sobre las asunciones y simplificaciones adoptadas en el modelo”, se ha supuesto en el modelo que los costes se pagan diariamente y que los ingresos se producen también diariamente. Se obtendrá de esta manera un flujo de caja diario diferencia de los ingresos y pagos efectuados.

Dado que habrá ocasiones en las que los pagos sean mayores a los ingresos, se pueden producir saldos negativos. Por ello se ha considerado en el modelo el establecimiento de una línea de crédito según el modelo hamburgués.

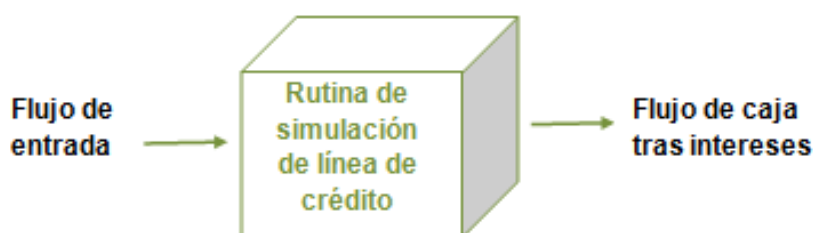
Como también se adelantó en el apartado 6.1, la denominación de las variables implicadas en esta subrutina se ha hecho desde la perspectiva de la entidad bancaria que concede y liquida periódicamente la línea de crédito.

De esta manera cuando la suma del haber es superior a la del debe, el saldo es acreedor o a favor del cliente, lo que implica la existencia de fondos a su favor. En cambio cuando la suma del debe es superior a la del haber, el saldo de la cuenta bancaria es deudor o a favor del banco.

Teniendo en cuenta lo anterior se trata por tanto de aplicar a los saldos de la cuenta bancaria las condiciones de la línea de crédito que se haya estipulado liquidando los intereses por uso de la línea de crédito o por rebasamiento de su límite de crédito.

La rutina de simulación de la línea de crédito sigue por tanto el siguiente esquema:

Ilustración 9-6 Esquema básico de simulación de la línea de crédito



El **Flujo de entrada** es igual al **Flujo de caja - Comisión de apertura y corretaje**.

La **Comisión de apertura y corretaje** será igual a **Interés apertura por Limite línea de crédito**.

**Límite de crédito** es una variable auxiliar para poder verificar gráficamente si se rebasa o no el límite de crédito.

La repuesta de la rutina será **Flujo de caja tras intereses** que es igual a **Flujo de entrada + Intereses totales línea de crédito**.

Se ha considerado que el **Periodo de liquidación de intereses** se realicé cada 90 días, aunque como sucede con el resto de los parámetros de este modelo éste período puede variarse.

El **Saldo acreedor** se producirá si **Flujo de caja tras intereses** es mayor que cero.

El **Saldo deudor** se producirá si **Flujo de caja tras intereses** es menor que cero pero mayor que el **Límite línea de crédito**.

El **Saldo excedido** se producirá si **Flujo de caja tras intereses** es menor que **Límite línea de crédito**.

**Ratio acreedor** es una variable de flujo que será igual a **Saldo acreedor**. **Numero comercial acreedor acumulado** es el resultado de **Ratio acreedor** menos una variable auxiliar denominada **Puesta a cero N° comercial acreedores**.

**Puesta a cero N° comercial acreedores** será igual a **Numero comercial acreedor acumulado** por **Periodo de liquidación de intereses**. El objetivo de esta variable es realizar una puesta a cero de los números comerciales una vez liquidados los intereses.

**Ratio deudor** es una variable de flujo que será igual a **Saldo deudor**. **Numero comercial deudor acumulado** es el resultado de **Ratio deudor** menos una variable auxiliar denominada **Puesta a cero N° comercial deudores**.

**Puesta a cero N° comercial deudores** será igual a **Numero comercial deudor acumulado** por **Periodo de liquidación de intereses**. El objetivo de esta variable es realizar una puesta a cero de los números comerciales una vez liquidados los intereses.

**Ratio excedido** es una variable de flujo que será igual a **Saldo excedido**. **Numero comercial excedido acumulado** es el resultado de **Ratio excedido** menos una variable auxiliar denominada **Puesta a cero N° comercial excedido**.



**Puesta a cero N° comercial excedido** será igual a **Numero comercial excedido acumulado** por **Periodo de liquidación de intereses**. El objetivo de esta variable es realizar una puesta a cero de los números comerciales una vez liquidados los intereses.

**Saldo medio disponible** es el menor de los siguientes valores:

a) **Periodo de liquidación de intereses** por **Numero comercial deudor acumulado** más **Periodo de liquidación de intereses** por **Numero comercial excedido acumulado**.

b) **Limite línea de crédito**

**Saldo medio no disponible** es igual a **Saldo medio disponible** menos **Periodo de liquidación de intereses** por **Limite línea de crédito**.

En la línea de crédito se han considerado:

- o Intereses acreedores, aplicables a los saldos diarios que queden en positivo.
- o Intereses deudores, aplicables a los saldos diarios que queden en negativo hasta un valor máximo establecido por el límite de crédito.
- o Intereses por excedidos, aplicables a los saldos diarios que queden en negativo y que sobrepasen el límite de crédito.
- o Comisión de no disponibilidad, aplicable sobre el Saldo medio no disponible.

El valor de **Liquidación de intereses acreedor** será **Periodo de liquidación de intereses** por **Numero comercial acreedor acumulado** por **Interés acreedor** y todo ello dividido por 360 ya que se trabaja con años comerciales de 360 días.

El valor de **Liquidación de interés deudor** será **Interés deudor** por **Número comercial deudor acumulado** por **Periodo de liquidación de intereses** y todo ello dividido entre 360.

El valor de **Liquidación de intereses excedido** será **Interés excedido** por **Número comercial excedido acumulado** por **Periodo de liquidación de intereses** y todo ello dividido entre 360.

El valor de **Comisión no disponibilidad** es igual a **Saldo medio no disponible** por **Interés comisión no disponibilidad**.

**Liquidación de intereses** es una variable de flujo que será igual a **Liquidación de intereses acreedor - Liquidación de interés deudor - Liquidación de intereses excedido - Comisión no disponibilidad**.

#### **9.4.2. Validación del modelo de simulación de la línea de crédito.**

Para verificar que la subrutina de establecimiento de línea de crédito funciona correctamente se han realizado cuatro pruebas con distintas posibilidades de créditos contrastadas con hoja de cálculo de manera que se pueda determinar también el error que puede haber implícito debido a la resolución por cálculo numérico.

**Prueba 1.** Cuenta con saldo en positivo constante de 1.000,00 € con liquidación de interés cada noventa días durante un año.

##### **CONDICIONES DE LA LÍNEA DE CRÉDITO**

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| COMISIÓN DE APERTURA Y CORRETAJE | 1,50%      |
| TIPO DE INTERES ACREEDOR         | 1,00%      |
| TIPO DE INTERÉS DEUDOR           | 8,50%      |
| TIPO DE INTERÉS EXCEDIDO         | 20,00%     |
| COMISIÓN DE NO DISPONIBILIDAD    | 0,25%      |
| LÍMITE DE CRÉDITO                | 4.000,00 € |

En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en hoja de cálculo aplicando las condiciones de la línea de crédito.

El total de interés acreedor de la prueba 1 asciende a 9,28 € a favor del cliente.

El total de interés deudor asciende a 0,00 € al no haber saldos negativos.

El total de interés excedido asciende a 0,00 € al no haber saldos negativos.

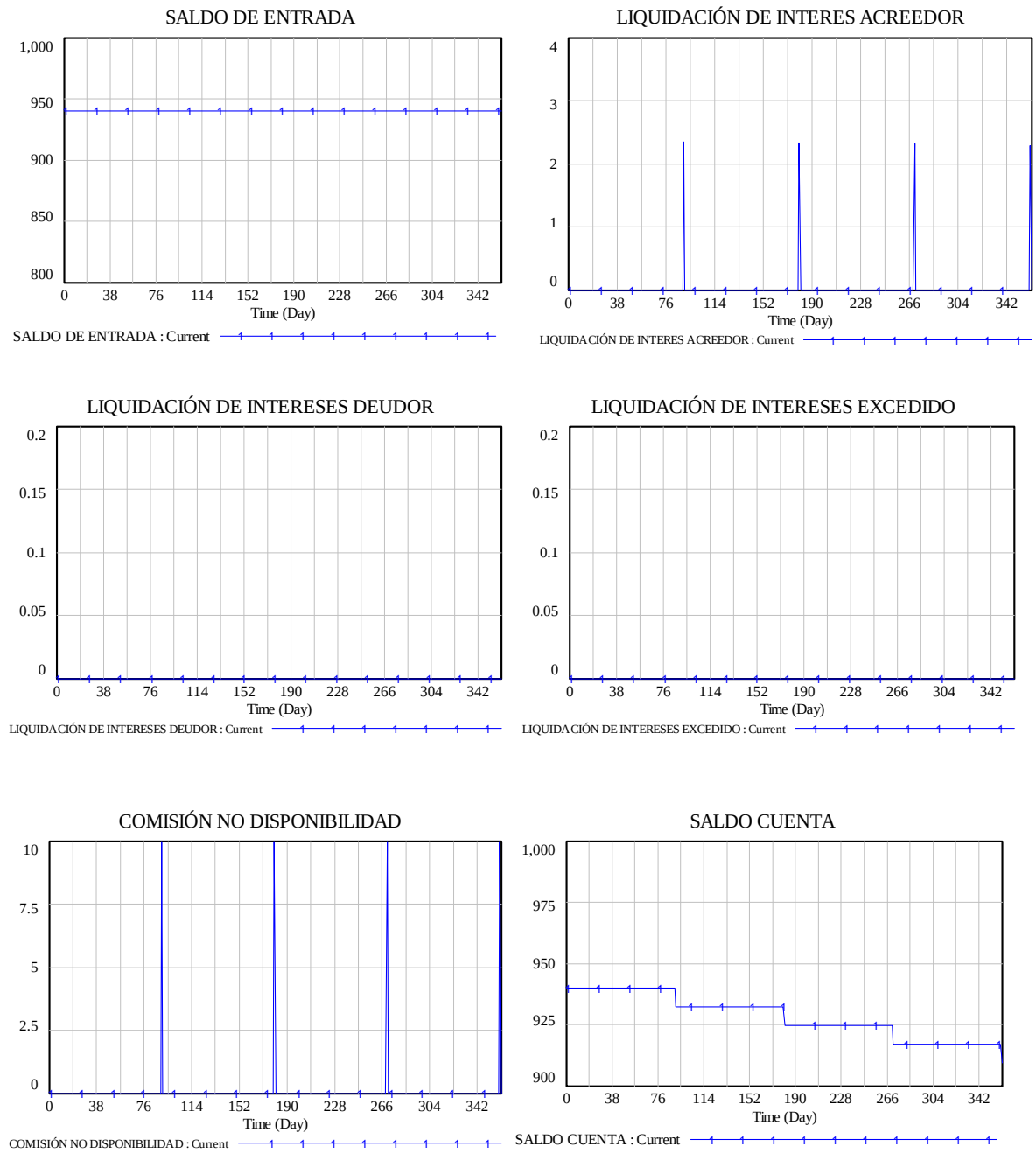
El total de la comisión de no disponibilidad asciende a 40,00 € al no haber saldos negativos.

Los intereses totales en los cuatro períodos de liquidación suponen en el año un total de 30,71 € frente a los 30,72 € obtenidos con hoja de cálculo. Al ser el error de 0,033 % consideramos que la precisión es adecuada.

DINÁMICA DE SISTEMAS APLICADA A LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO INVERSA.

| FECHA<br>(DIA) | CONCEPTO                  | CUANTIAS |            | SALDO   | SALDO    | VENCIMIENTO                 | DIAS | NUMEROS<br>COMERCIALES |             |                    |
|----------------|---------------------------|----------|------------|---------|----------|-----------------------------|------|------------------------|-------------|--------------------|
|                |                           | DEBE     | HABER      | DEUDOR  | ACREEDOR |                             |      | DEBE                   | HABER       | EXCESO             |
| 1              | COMISION APERTURA         | 60,00 €  |            | 60,00 € |          | 1                           | 0    |                        |             |                    |
| 1              | CARGO                     |          | 1.000,00 € |         | 940,00 € | 1                           | 18   |                        | 16.920,00 € |                    |
| 18             |                           |          |            |         | 940,00 € | 18                          | 18   |                        | 16.920,00 € |                    |
| 36             |                           |          |            |         | 940,00 € | 36                          | 18   |                        | 16.920,00 € |                    |
| 54             |                           |          |            |         | 940,00 € | 54                          | 18   |                        | 16.920,00 € |                    |
| 72             |                           |          |            |         | 940,00 € | 72                          | 18   |                        | 16.920,00 € |                    |
| 90             | CARGO INTERES<br>DEUDOR   | 0,00 €   |            |         | 940,00 € | TOTAL DIAS                  |      | 90                     | 0,00 €      | 84.600,00 € 0,00 € |
| 90             | ABONO INTERES<br>ACREEDOR |          | 2,35 €     |         | 942,35 € | SALDO MEDIO<br>DISPUERTO    |      | 0,00 €                 |             |                    |
| 90             | CARGO INTERES<br>EXCEDIDO | 0,00 €   |            |         | 942,35 € | SALDO MEDIO NO<br>DISPUERTO |      | 4.000,00 €             |             |                    |
| 90             | COMISION NO<br>DISPONIBLE | 10,00 €  |            |         | 932,35 € |                             |      |                        |             |                    |
| 90             |                           |          |            |         | 932,35 € | 90                          | 18   |                        | 16.782,30 € |                    |
| 108            |                           |          |            |         | 932,35 € | 108                         | 18   |                        | 16.782,30 € |                    |
| 126            |                           |          |            |         | 932,35 € | 126                         | 18   |                        | 16.782,30 € |                    |
| 144            |                           |          |            |         | 932,35 € | 144                         | 18   |                        | 16.782,30 € |                    |
| 162            |                           |          |            |         | 932,35 € | 162                         | 18   |                        | 16.782,30 € |                    |
| 180            | CARGO INTERES<br>DEUDOR   | 0,00 €   |            |         | 932,35 € | TOTAL DIAS                  |      | 90                     | 0,00 €      | 83.911,50 € 0,00 € |
| 180            | ABONO INTERES<br>ACREEDOR |          | 2,33 €     |         | 934,68 € | SALDO MEDIO<br>DISPUERTO    |      | 0,00 €                 |             |                    |
| 180            | CARGO INTERES<br>EXCEDIDO | 0,00 €   |            |         | 934,68 € | SALDO MEDIO NO<br>DISPUERTO |      | 4.000,00 €             |             |                    |
| 180            | COMISION NO<br>DISPONIBLE | 10,00 €  |            |         | 924,68 € |                             |      |                        |             |                    |
| 180            |                           |          |            |         | 924,68 € | 180                         | 18   |                        | 16.644,26 € |                    |
| 198            |                           |          |            |         | 924,68 € | 198                         | 18   |                        | 16.644,26 € |                    |
| 216            |                           |          |            |         | 924,68 € | 216                         | 18   |                        | 16.644,26 € |                    |
| 234            |                           |          |            |         | 924,68 € | 234                         | 18   |                        | 16.644,26 € |                    |
| 252            |                           |          |            |         | 924,68 € | 252                         | 18   |                        | 16.644,26 € |                    |
| 270            | CARGO INTERES<br>DEUDOR   | 0,00 €   |            |         | 924,68 € | TOTAL DIAS                  |      | 90                     | 0,00 €      | 83.221,28 € 0,00 € |
| 270            | ABONO INTERES<br>ACREEDOR |          | 2,31 €     |         | 926,99 € | SALDO MEDIO<br>DISPUERTO    |      | 0,00 €                 |             |                    |
| 270            | CARGO INTERES<br>EXCEDIDO | 0,00 €   |            |         | 926,99 € | SALDO MEDIO NO<br>DISPUERTO |      | 4.000,00 €             |             |                    |
| 270            | COMISION NO<br>DISPONIBLE | 10,00 €  |            |         | 916,99 € |                             |      |                        |             |                    |
| 270            |                           |          |            |         | 916,99 € | 270                         | 18   |                        | 16.505,87 € |                    |
| 288            |                           |          |            |         | 916,99 € | 288                         | 18   |                        | 16.505,87 € |                    |
| 306            |                           |          |            |         | 916,99 € | 306                         | 18   |                        | 16.505,87 € |                    |
| 324            |                           |          |            |         | 916,99 € | 324                         | 18   |                        | 16.505,87 € |                    |
| 342            |                           |          |            |         | 916,99 € | 342                         | 18   |                        | 16.505,87 € |                    |
| 360            | CARGO INTERES<br>DEUDOR   | 0,00 €   |            |         | 916,99 € | TOTAL DIAS                  |      | 90                     | 0,00 €      | 82.529,33 € 0,00 € |
| 360            | ABONO INTERES<br>ACREEDOR |          | 2,29 €     |         | 919,29 € | SALDO MEDIO<br>DISPUERTO    |      | 0,00 €                 |             |                    |
| 360            | CARGO INTERES<br>EXCEDIDO | 0,00 €   |            |         | 919,29 € | SALDO MEDIO NO<br>DISPUERTO |      | 4.000,00 €             |             |                    |
| 360            | COMISION NO<br>DISPONIBLE | 10,00 €  |            |         | 909,29 € |                             |      |                        |             |                    |

Gráfica 9-4. Resultados de Prueba 1 Línea de crédito



**Prueba 2.** Cuenta con saldo en negativo constante de -1.000,00 € con liquidación de interés cada noventa días durante un año.

**CONDICIONES DE LA LÍNEA DE CRÉDITO**

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| COMISIÓN DE APERTURA Y CORRETAJE | 1,50%      |
| TIPO DE INTERES ACREEDOR         | 1,00%      |
| TIPO DE INTERÉS DEUDOR           | 8,50%      |
| TIPO DE INTERÉS EXCEDIDO         | 20,00%     |
| COMISIÓN DE NO DISPONIBILIDAD    | 0,25%      |
| LÍMITE DE CRÉDITO                | 4.000,00 € |

En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en hoja de cálculo aplicando las condiciones de la línea de crédito.

El total de interés acreedor de la prueba 2 asciende a 0,00 € a favor del cliente.

El total de interés deudor asciende a 93,97 € al no haber saldos negativos.

El total de interés excedido asciende a 0,00 € al no haber saldos negativos que rebasen el límite de crédito.

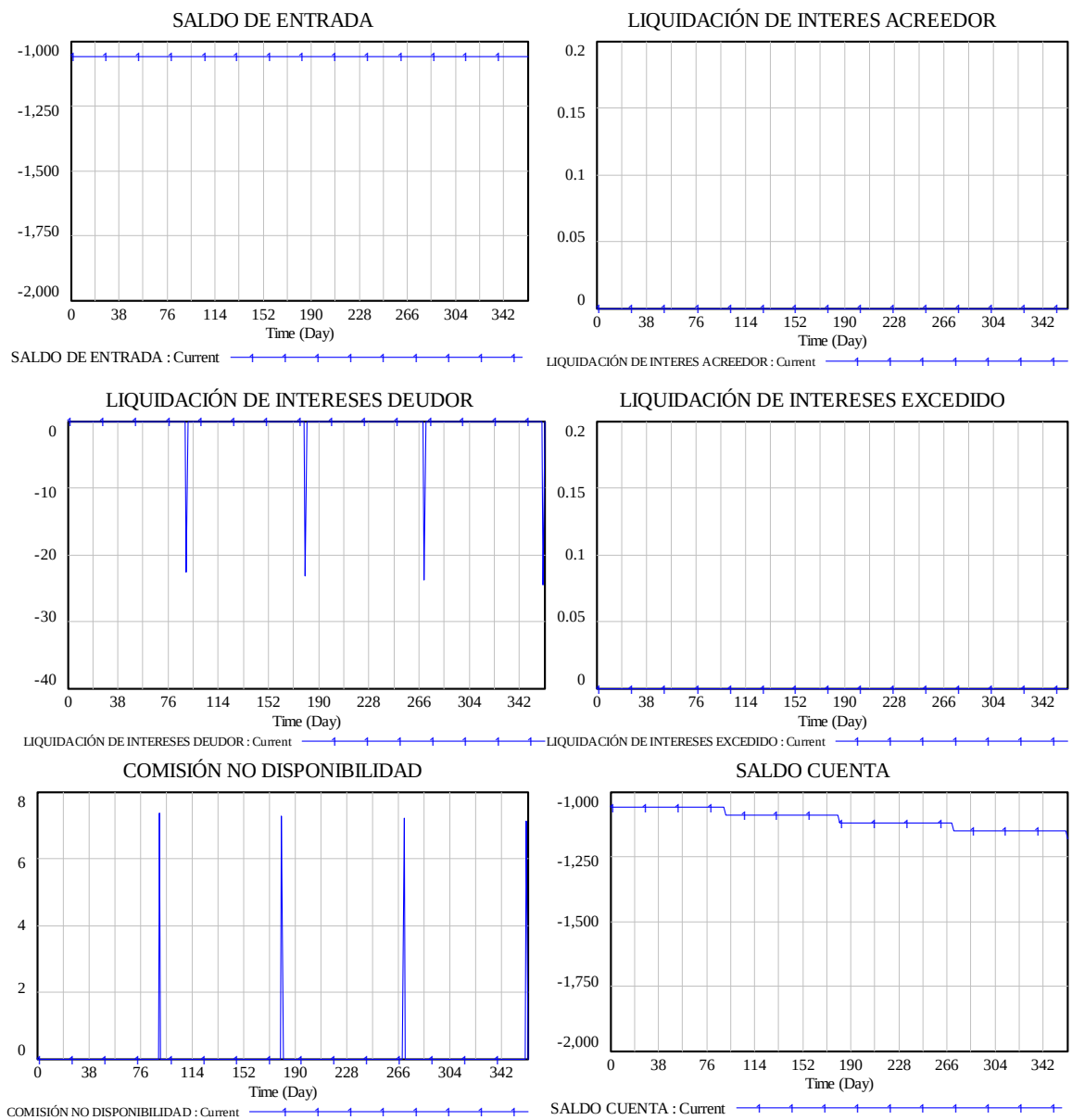
El total de la comisión de no disponibilidad asciende a 28,95 €.

Los intereses totales en los cuatro períodos de liquidación suponen en el año un total de 122,88 € frente a los 122,92 € obtenidos con hoja de cálculo. Al ser el error de 0,033 % consideramos que la precisión es adecuada.

DESCRIPCIÓN DE LOS FLUJOS ECONÓMICOS

| FECHA<br>(DIA) | CONCEPTO               | CUANTIAS   |        | SALDO      |          | VENCIMIENTO              | DIAS | NUMEROS COMERCIALES |              |        |
|----------------|------------------------|------------|--------|------------|----------|--------------------------|------|---------------------|--------------|--------|
|                |                        | DEBE       | HABER  | DEUDOR     | ACREEDOR |                          |      | DEBE                | HABER        | EXCESO |
| 1              | COMISION APERTURA      | 60,00 €    |        | 60,00 €    |          | 1                        | 0    | 0,00 €              |              |        |
| 1              | CARGO                  | 1.000,00 € |        | 1.060,00 € |          | 1                        | 18   | 19.080,00 €         |              |        |
| 18             |                        |            |        | 1.060,00 € |          | 18                       | 18   | 19.080,00 €         |              |        |
| 36             |                        |            |        | 1.060,00 € |          | 36                       | 18   | 19.080,00 €         |              |        |
| 54             |                        |            |        | 1.060,00 € |          | 54                       | 18   | 19.080,00 €         |              |        |
| 72             |                        |            |        | 1.060,00 € |          | 72                       | 18   | 19.080,00 €         |              |        |
| 90             | CARGO INTERES DEUDOR   | 22,53 €    |        | 1.082,53 € |          | TOTAL DIAS               |      | 90                  | 95.400,00 €  | 0,00 € |
| 90             | ABONO INTERES ACREEDOR |            | 0,00 € | 1.082,53 € |          | SALDO MEDIO DISPUESTO    |      |                     | 1.060,00 €   |        |
| 90             | CARGO INTERES EXCEDIDO | 0,00 €     |        | 1.082,53 € |          | SALDO MEDIO NO DISPUESTO |      |                     | 2.940,00 €   |        |
| 90             | COMISION NO DISPONIBLE | 7,35 €     |        | 1.089,88 € |          |                          |      |                     |              |        |
| 90             |                        |            |        | 1.089,88 € |          | 90                       | 18   | 19.617,75 €         |              |        |
| 108            |                        |            |        | 1.089,88 € |          | 108                      | 18   | 19.617,75 €         |              |        |
| 126            |                        |            |        | 1.089,88 € |          | 126                      | 18   | 19.617,75 €         |              |        |
| 144            |                        |            |        | 1.089,88 € |          | 144                      | 18   | 19.617,75 €         |              |        |
| 162            |                        |            |        | 1.089,88 € |          | 162                      | 18   | 19.617,75 €         |              |        |
| 180            | CARGO INTERES DEUDOR   | 23,16 €    |        | 1.113,03 € |          | TOTAL DIAS               |      | 90                  | 98.088,75 €  | 0,00 € |
| 180            | ABONO INTERES ACREEDOR |            | 0,00 € | 1.113,03 € |          | SALDO MEDIO DISPUESTO    |      |                     | 1.089,88 €   |        |
| 180            | CARGO INTERES EXCEDIDO | 0,00 €     |        | 1.113,03 € |          | SALDO MEDIO NO DISPUESTO |      |                     | 2.910,13 €   |        |
| 180            | COMISION NO DISPONIBLE | 7,28 €     |        | 1.120,31 € |          |                          |      |                     |              |        |
| 180            |                        |            |        | 1.120,31 € |          | 180                      | 18   | 20.165,58 €         |              |        |
| 198            |                        |            |        | 1.120,31 € |          | 198                      | 18   | 20.165,58 €         |              |        |
| 216            |                        |            |        | 1.120,31 € |          | 216                      | 18   | 20.165,58 €         |              |        |
| 234            |                        |            |        | 1.120,31 € |          | 234                      | 18   | 20.165,58 €         |              |        |
| 252            |                        |            |        | 1.120,31 € |          | 252                      | 18   | 20.165,58 €         |              |        |
| 270            | CARGO INTERES DEUDOR   | 23,81 €    |        | 1.144,12 € |          | TOTAL DIAS               |      | 90                  | 100.827,91 € | 0,00 € |
| 270            | ABONO INTERES ACREEDOR |            | 0,00 € | 1.144,12 € |          | SALDO MEDIO DISPUESTO    |      |                     | 1.120,31 €   |        |
| 270            | CARGO INTERES EXCEDIDO | 0,00 €     |        | 1.144,12 € |          | SALDO MEDIO NO DISPUESTO |      |                     | 2.879,69 €   |        |
| 270            | COMISION NO DISPONIBLE | 7,20 €     |        | 1.151,32 € |          |                          |      |                     |              |        |
| 270            |                        |            |        | 1.151,32 € |          | 270                      | 18   | 20.723,69 €         |              |        |
| 288            |                        |            |        | 1.151,32 € |          | 288                      | 18   | 20.723,69 €         |              |        |
| 306            |                        |            |        | 1.151,32 € |          | 306                      | 18   | 20.723,69 €         |              |        |
| 324            |                        |            |        | 1.151,32 € |          | 324                      | 18   | 20.723,69 €         |              |        |
| 342            |                        |            |        | 1.151,32 € |          | 342                      | 18   | 20.723,69 €         |              |        |
| 360            | CARGO INTERES DEUDOR   | 24,47 €    |        | 1.175,78 € |          | TOTAL DIAS               |      | 90                  | 103.618,44 € | 0,00 € |
| 360            | ABONO INTERES ACREEDOR |            | 0,00 € | 1.175,78 € |          | SALDO MEDIO DISPUESTO    |      |                     | 1.151,32 €   |        |
| 360            | CARGO INTERES EXCEDIDO | 0,00 €     |        | 1.175,78 € |          | SALDO MEDIO NO DISPUESTO |      |                     | 2.848,68 €   |        |
| 360            | COMISION NO DISPONIBLE | 7,12 €     |        | 1.182,90 € |          |                          |      |                     |              |        |

Gráfica 9-5 Resultados de Prueba 2 Línea de crédito



**Prueba 3.** Cuenta con saldo en negativo constante de -3.800,00 € con liquidación de interés cada noventa días durante un año.

#### CONDICIONES DE LA LÍNEA DE CRÉDITO

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| COMISIÓN DE APERTURA Y CORRETAJE | 1,50%      |
| TIPO DE INTERES ACREEDOR         | 1,00%      |
| TIPO DE INTERÉS DEUDOR           | 8,50%      |
| TIPO DE INTERÉS EXCEDIDO         | 20,00%     |
| COMISIÓN DE NO DISPONIBILIDAD    | 0,25%      |
| LÍMITE DE CRÉDITO                | 4.000,00 € |

En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en hoja de cálculo aplicando las condiciones de la línea de crédito.

El total de interés acreedor de la prueba 3 asciende a 0,00 € a favor del cliente.

El total de interés deudor asciende a 335,81 € al no haber saldos negativos.

El total de interés excedido asciende a 6,94 € al haber saldos negativos que rebasan el límite de crédito.

El total de la comisión de no disponibilidad asciende a 0,49 €.

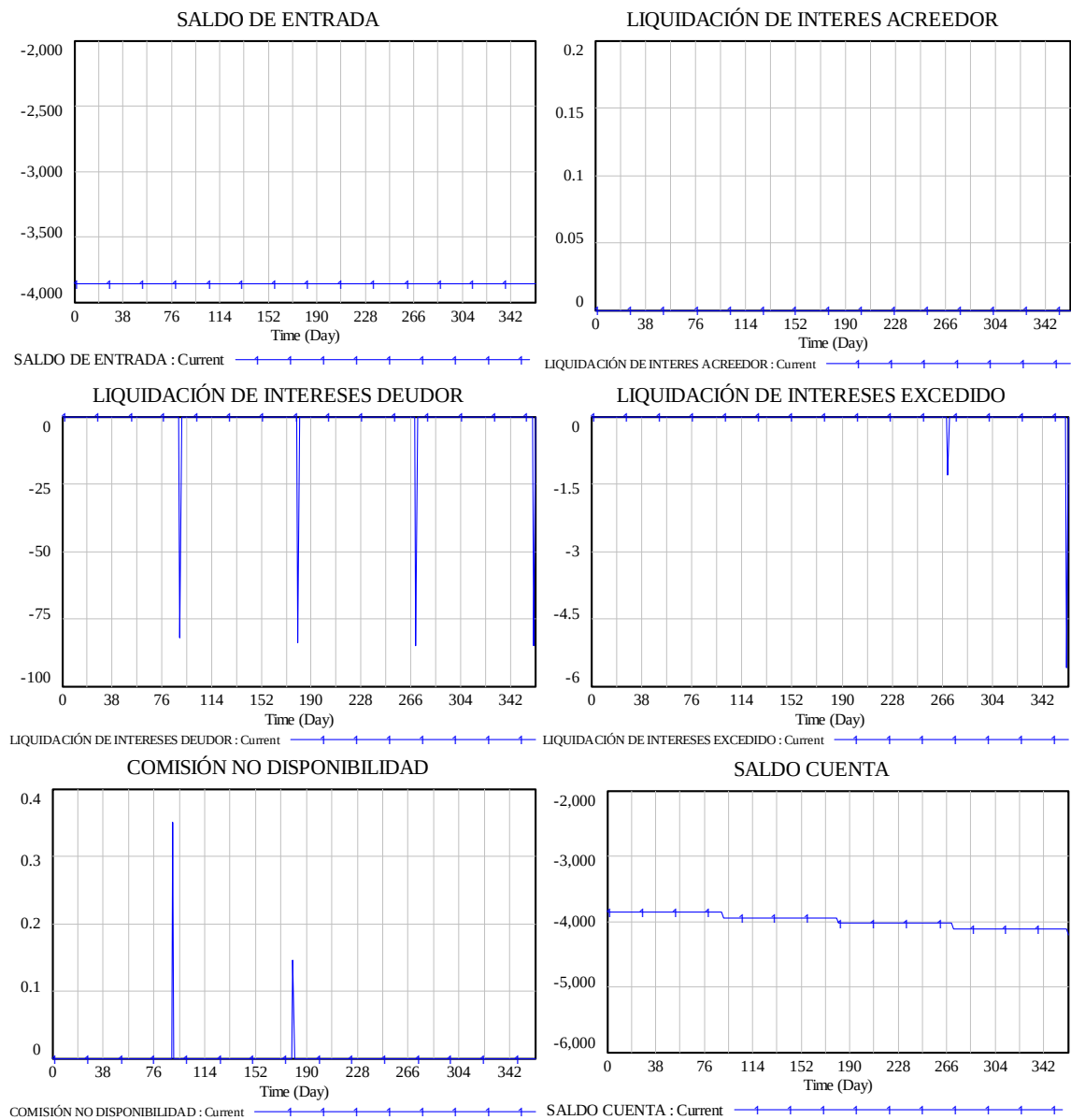
Los intereses totales en los cuatro períodos de liquidación suponen en el año un total de 343,14 € frente a los 343,24 € obtenidos con hoja de cálculo. Al ser el error de 0,029 % consideramos que la precisión es adecuada.



DINÁMICA DE SISTEMAS APLICADA A LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO INVERSA.

| FECHA<br>(DIA) | CONCEPTO               | CUANTIAS   |        | SALDO      |          | VENCIMIENTO              | DIAS | NUMEROS COMERCIALES |              |            |
|----------------|------------------------|------------|--------|------------|----------|--------------------------|------|---------------------|--------------|------------|
|                |                        | DEBE       | HABER  | DEUDOR     | ACREEDOR |                          |      | DEBE                | HABER        | EXCESO     |
| 1              | COMISION APERTURA      | 60,00 €    |        | 60,00 €    |          | 1                        | 0    | 0,00 €              |              |            |
| 1              | CARGO                  | 3.800,00 € |        | 3.860,00 € |          | 1                        | 18   | 69.480,00 €         |              |            |
| 18             |                        |            |        | 3.860,00 € |          | 18                       | 18   | 69.480,00 €         |              |            |
| 36             |                        |            |        | 3.860,00 € |          | 36                       | 18   | 69.480,00 €         |              |            |
| 54             |                        |            |        | 3.860,00 € |          | 54                       | 18   | 69.480,00 €         |              |            |
| 72             |                        |            |        | 3.860,00 € |          | 72                       | 18   | 69.480,00 €         |              |            |
| 90             | CARGO INTERES DEUDOR   | 82,03 €    |        | 3.942,03 € |          | TOTAL DIAS               |      | 90                  | 347.400,00 € | 0,00 €     |
| 90             | ABONO INTERES ACREEDOR |            | 0,00 € | 3.942,03 € |          | SALDO MEDIO DISPUESTO    |      |                     | 3.860,00 €   |            |
| 90             | CARGO INTERES EXCEDIDO | 0,00 €     |        | 3.942,03 € |          | SALDO MEDIO NO DISPUESTO |      |                     | 140,00 €     |            |
| 90             | COMISION NO DISPONIBLE | 0,35 €     |        | 3.942,38 € |          |                          |      |                     |              |            |
| 90             |                        |            |        | 3.942,38 € |          | 90                       | 18   | 70.962,75 €         |              |            |
| 108            |                        |            |        | 3.942,38 € |          | 108                      | 18   | 70.962,75 €         |              |            |
| 126            |                        |            |        | 3.942,38 € |          | 126                      | 18   | 70.962,75 €         |              |            |
| 144            |                        |            |        | 3.942,38 € |          | 144                      | 18   | 70.962,75 €         |              |            |
| 162            |                        |            |        | 3.942,38 € |          | 162                      | 18   | 70.962,75 €         |              |            |
| 180            | CARGO INTERES DEUDOR   | 83,78 €    |        | 4.026,15 € |          | TOTAL DIAS               |      | 90                  | 354.813,75 € | 0,00 €     |
| 180            | ABONO INTERES ACREEDOR |            | 0,00 € | 4.026,15 € |          | SALDO MEDIO DISPUESTO    |      |                     | 3942,375     |            |
| 180            | CARGO INTERES EXCEDIDO | 0,00 €     |        | 4.026,15 € |          | SALDO MEDIO NO DISPUESTO |      |                     | 57,63 €      |            |
| 180            | COMISION NO DISPONIBLE | 0,14 €     |        | 4.026,29 € |          |                          |      |                     |              |            |
| 180            |                        |            |        | 4.026,29 € |          | 180                      | 18   | 72.000,00 €         |              | 473,30 €   |
| 198            |                        |            |        | 4.026,29 € |          | 198                      | 18   | 72.000,00 €         |              | 473,30 €   |
| 216            |                        |            |        | 4.026,29 € |          | 216                      | 18   | 72.000,00 €         |              | 473,30 €   |
| 234            |                        |            |        | 4.026,29 € |          | 234                      | 18   | 72.000,00 €         |              | 473,30 €   |
| 252            |                        |            |        | 4.026,29 € |          | 252                      | 18   | 72.000,00 €         |              | 473,30 €   |
| 270            | CARGO INTERES DEUDOR   | 85,00 €    |        | 4.111,29 € |          | TOTAL DIAS               |      | 90                  | 360.000,00 € | 0,00 €     |
| 270            | ABONO INTERES ACREEDOR |            | 0,00 € | 4.111,29 € |          | SALDO MEDIO DISPUESTO    |      |                     | 4.026,29 €   |            |
| 270            | CARGO INTERES EXCEDIDO | 1,31 €     |        | 4.112,61 € |          | SALDO MEDIO NO DISPUESTO |      |                     | 0,00 €       |            |
| 270            | COMISION NO DISPONIBLE | 0,00 €     |        | 4.112,61 € |          |                          |      |                     |              |            |
| 270            |                        |            |        | 4.112,61 € |          | 270                      | 18   | 72.000,00 €         |              | 2.026,97 € |
| 288            |                        |            |        | 4.112,61 € |          | 288                      | 18   | 72.000,00 €         |              | 2.026,97 € |
| 306            |                        |            |        | 4.112,61 € |          | 306                      | 18   | 72.000,00 €         |              | 2.026,97 € |
| 324            |                        |            |        | 4.112,61 € |          | 324                      | 18   | 72.000,00 €         |              | 2.026,97 € |
| 342            |                        |            |        | 4.112,61 € |          | 342                      | 18   | 72.000,00 €         |              | 2.026,97 € |
| 360            | CARGO INTERES DEUDOR   | 85,00 €    |        | 4.197,61 € |          | TOTAL DIAS               |      | 90                  | 360.000,00 € | 0,00 €     |
| 360            | ABONO INTERES ACREEDOR |            | 0,00 € | 4.197,61 € |          | SALDO MEDIO DISPUESTO    |      |                     | 4.112,61 €   |            |
| 360            | CARGO INTERES EXCEDIDO | 5,63 €     |        | 4.203,24 € |          | SALDO MEDIO NO DISPUESTO |      |                     | 0,00 €       |            |
| 360            | COMISION NO DISPONIBLE | 0,00 €     |        | 4.203,24 € |          |                          |      |                     |              |            |

Gráfica 9-6 Resultados de Prueba 3 Línea de crédito



**Prueba 4.** Cuenta con patrón de saldos positivos, negativos dentro del límite de crédito y excedidos con liquidación de interés cada noventa días durante un año.

**CONDICIONES DE LA LÍNEA DE CRÉDITO**

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| COMISIÓN DE APERTURA Y CORRETAJE | 1,50%      |
| TIPO DE INTERES ACREEDOR         | 1,00%      |
| TIPO DE INTERÉS DEUDOR           | 8,50%      |
| TIPO DE INTERÉS EXCEDIDO         | 20,00%     |
| COMISIÓN DE NO DISPONIBILIDAD    | 0,25%      |
| LÍMITE DE CRÉDITO                | 4.000,00 € |

En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en hoja de cálculo aplicando las condiciones de la línea de crédito.

El total de interés acreedor de la prueba 4 asciende a 6,30 € a favor del cliente.

El total de interés deudor asciende a 86,99 € al no haber saldos negativos.

El total de interés excedido asciende a 44,66 € al haber saldos negativos que rebasan el límite de crédito.

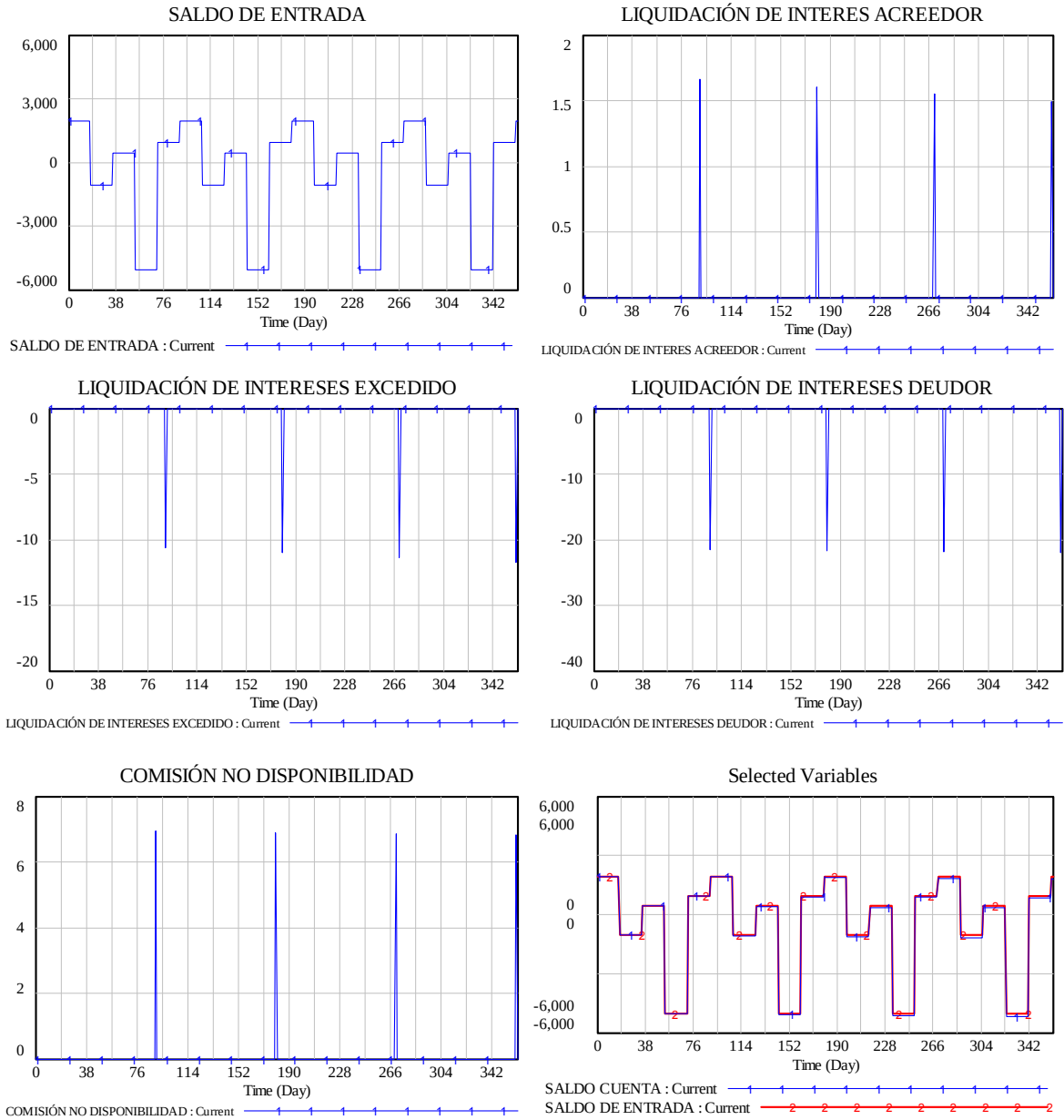
El total de la comisión de no disponibilidad asciende a 27,53 €.

Los intereses totales en los cuatro períodos de liquidación suponen en el año un total de 152,88 € frente a los 152,88 € obtenidos con hoja de cálculo por lo que consideramos que la precisión es adecuada.

## DESCRIPCIÓN DE LOS FLUJOS ECONÓMICOS

| FECHA<br>(DÍA) | CONCEPTO               | CUANTIAS   |            | SALDO      |            | VENCIMIENTO              | DIAS | NUMEROS COMERCIALES |             |                         |
|----------------|------------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------------|------|---------------------|-------------|-------------------------|
|                |                        | DEBE       | HABER      | DEUDOR     | ACREEDOR   |                          |      | DEBE                | HABER       | EXCESO                  |
| 1              | COMISION APERTURA      | 60,00 €    |            | 60,00 €    |            | 1                        | 0    | 0,00 €              |             |                         |
| 1              | ABONO                  |            | 2.000,00 € |            | 1.940,00 € | 1                        | 18   |                     | 34.920,00 € |                         |
| 18             | CARGO                  | 3.000,00 € |            | 1.060,00 € |            | 18                       | 18   | 19.080,00 €         |             |                         |
| 36             | ABONO                  |            | 1.500,00 € |            | 440,00 €   | 36                       | 18   |                     | 7.920,00 €  |                         |
| 54             | CARGO                  | 5.500,00 € |            | 5.060,00 € |            | 54                       | 18   | 72.000,00 €         |             | 19.080,00 €             |
| 72             | ABONO                  |            | 6.000,00 € |            | 940,00 €   | 72                       | 18   |                     | 16.920,00 € |                         |
| 90             | CARGO INTERES DEUDOR   | 21,51 €    |            |            | 918,50 €   | TOTAL DIAS               |      | 90                  | 91.080,00 € | 59.760,00 € 19.080,00 € |
| 90             | ABONO INTERES ACREEDOR |            | 1,66 €     |            | 920,16 €   | SALDO MEDIO DISPUESTO    |      |                     | 1.224,00 €  |                         |
| 90             | CARGO INTERES EXCEDIDO | 10,60 €    |            |            | 909,56 €   | SALDO MEDIO NO DISPUESTO |      |                     | 2.776,00 €  |                         |
| 90             | COMISION NO DISPONIBLE | 6,94 €     |            |            | 902,62 €   |                          |      |                     |             |                         |
| 90             | ABONO                  |            | 1.000,00 € |            | 1.902,62 € | 90                       | 18   |                     | 34.247,07 € |                         |
| 108            | CARGO                  | 3.000,00 € |            | 1.097,39 € |            | 108                      | 18   | 19.752,93 €         |             |                         |
| 126            | ABONO                  |            | 1.500,00 € |            | 402,62 €   | 126                      | 18   |                     | 7.247,07 €  |                         |
| 144            | CARGO                  | 5.500,00 € |            | 5.097,39 € |            | 144                      | 18   | 72.000,00 €         |             | 19.752,93 €             |
| 162            | ABONO                  |            | 6.000,00 € |            | 902,62 €   | 162                      | 18   |                     | 16.247,07 € |                         |
| 180            | CARGO INTERES DEUDOR   | 21,66 €    |            |            | 880,95 €   | TOTAL DIAS               |      | 90                  | 91.752,93 € | 57.741,21 € 19.752,93 € |
| 180            | ABONO INTERES ACREEDOR |            | 1,60 €     |            | 882,56 €   | SALDO MEDIO DISPUESTO    |      |                     | 1238,954    |                         |
| 180            | CARGO INTERES EXCEDIDO | 10,97 €    |            |            | 871,58 €   | SALDO MEDIO NO DISPUESTO |      |                     | 2.761,05 €  |                         |
| 180            | COMISION NO DISPONIBLE | 6,90 €     |            |            | 864,68 €   |                          |      |                     |             |                         |
| 180            | ABONO                  |            | 1.000,00 € |            | 1.864,68 € | 180                      | 18   |                     | 33.564,21 € |                         |
| 198            | CARGO                  | 3.000,00 € |            | 1.135,32 € |            | 198                      | 18   | 20.435,79 €         |             |                         |
| 216            | ABONO                  |            | 1.500,00 € |            | 364,68 €   | 216                      | 18   |                     | 6.564,21 €  |                         |
| 234            | CARGO                  | 5.500,00 € |            | 5.135,32 € |            | 234                      | 18   | 72.000,00 €         |             | 20.435,79 €             |
| 252            | ABONO                  |            | 6.000,00 € |            | 864,68 €   | 252                      | 18   |                     | 15.564,21 € |                         |
| 270            | CARGO INTERES DEUDOR   | 21,83 €    |            |            | 842,85 €   | TOTAL DIAS               |      | 90                  | 92.435,79 € | 55.692,64 € 20.435,79 € |
| 270            | ABONO INTERES ACREEDOR |            | 1,55 €     |            | 844,40 €   | SALDO MEDIO DISPUESTO    |      |                     | 1.254,13 €  |                         |
| 270            | CARGO INTERES EXCEDIDO | 11,35 €    |            |            | 833,05 €   | SALDO MEDIO NO DISPUESTO |      |                     | 2.745,87 €  |                         |
| 270            | COMISION NO DISPONIBLE | 6,86 €     |            |            | 826,18 €   |                          |      |                     |             |                         |
| 270            | ABONO                  |            | 1.000,00 € |            | 1.826,18 € | 270                      | 18   |                     | 32.871,29 € |                         |
| 288            | CARGO                  | 3.000,00 € |            | 1.173,82 € |            | 288                      | 18   | 21.128,71 €         |             |                         |
| 306            | ABONO                  |            | 1.500,00 € |            | 326,18 €   | 306                      | 18   |                     | 5.871,29 €  |                         |
| 324            | CARGO                  | 5.500,00 € |            | 5.173,82 € |            | 324                      | 18   | 72.000,00 €         |             | 21.128,71 €             |
| 342            | ABONO                  |            | 6.000,00 € |            | 826,18 €   | 342                      | 18   |                     | 14.871,29 € |                         |
| 360            | CARGO INTERES DEUDOR   | 21,99 €    |            |            | 804,19 €   | TOTAL DIAS               |      | 90                  | 93.128,71 € | 53.613,86 € 21.128,71 € |
| 360            | ABONO INTERES ACREEDOR |            | 1,49 €     |            | 805,68 €   | SALDO MEDIO DISPUESTO    |      |                     | 1.269,53 €  |                         |
| 360            | CARGO INTERES EXCEDIDO | 11,74 €    |            |            | 793,94 €   | SALDO MEDIO NO DISPUESTO |      |                     | 2.730,47 €  |                         |
| 360            | COMISION NO DISPONIBLE | 6,83 €     |            |            | 787,12 €   |                          |      |                     |             |                         |
| 360            | ABONO                  |            | 1.000,00 € |            | 1.787,12 € |                          |      |                     |             |                         |

Gráfica 9-7 Resultados de Prueba 4 Línea de crédito



### 9.5. VALOR ACTUAL NETO DEL CONJUNTO DE LA RED

Para evaluar económicamente la red de distribución se ha decidido calcular el **VALOR ACTUAL NETO** del conjunto de red.

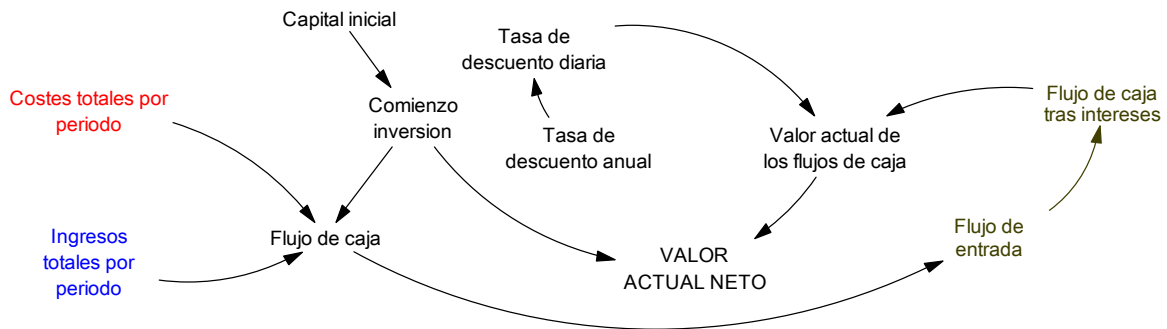
Para ello se ha calculado el **Valor actual de los flujos de caja** que es la actualización de los valores del **Flujo de caja** tras intereses y se aplica una determinada **Tasa de descuento anual**.

Como el período de cálculo del modelo es el día se ha convertido la **Tasa de descuento anual** en una **Tasa de descuento diaria**.

Se ha considerado que en la cuenta haya un saldo inicial que en este caso se ha denominado **Capital Inicial** y que se aplica en el momento actual según la variable auxiliar **Comienzo Inversión**.

El **VALOR ACTUAL NETO** del conjunto de red es por tanto el **Valor actual de los flujos de caja** menos la cantidad denominada **Comienzo Inversión**.

Ilustración 9-7 Diagrama de Forrester del cálculo del Valor Actual Neto.





## 10. ECUACIONES DEL MODELO

Se indican a continuación las ecuaciones que rigen el modelo desarrollado.

Cabe destacar que bastantes de los valores que aparecen en estas ecuaciones como constantes han variado según las simulaciones desarrolladas ya que se han referido a un producto concreto, por lo que se muestran aquí a título exclusivamente descriptivo.

$$(001) \text{"a-Capacidad de recogida"} = 84$$

Units: día

$$(002) \text{"a-Capacidad de reprocesado"} = 14$$

Units: día

$$(003) \text{"a-Demanda"} = 14$$

Units: día

$$(004) \text{"a-Inventario Distribuidores"} = 14$$

Units: día

Parámetro de retraso

$$(005) \text{"a-Inventario Mayoristas"} = 14$$

Units: día

$$(006) \text{"a-Inventario Minoristas"} = 14$$

Units: día

Parámetro de retraso

$$(007) \text{"a-Ratio Reprocesado"} = 168$$

Units: día

$$(008) \text{Canon de vertedero materiales} = 0.01$$

Units: €/unidades

$$(009) \text{Canon de vertedero producto} = 0.01$$

Units: €/unidades

$$(010) \text{Capacidad de desensamblado} = \text{Capacidad de reprocesado} \times \text{Relacion capacidades Desensamblado Reprocesado}$$



Units: unidades/día

(011) Capacidad de producción= 2000

Units: unidades/día

(012) Capacidad de recogida= INTEG (Ratio de incremento de capacidad de recogida-Ratio de reducción de capacidad de recogida,0)

Units: unidades/día

(013) Capacidad de recogida deseada=SMOOTH(Productos usados, "a-Capacidad de recogida")

Units: unidades/día

(014) Capacidad de reprocesado= INTEG ( Ratio de incremento de la capacidad de reprocesado-Ratio de reducción de capacidad de reprocesado, 0)

Units: unidades/día

(015) Capacidad de reprocesado deseada=SMOOTH(Ventas\*(1-Porcentaje de error), "a-Capacidad de reprocesado")

Units: unidades/día

(016) Capital=IF THEN ELSE (Necesidades de prestamo>0,Necesidades de prestamo,0)

Units: €/día

(017) Capital inicial= 1e+006

Units: €/día

(018) Capital invertido reprocesado=Necesidades de capital acumulado

Units: €

(019) Capital total pagado acumulado= INTEG (Pagos,0)

Units: €

(020) Coeficiente de reducción recogida= Ratio de reducción de capacidad de recogida^0.6

Units: unidades/día

(021) coeficiente inversión recogida=Ratio de expansión de la Capacidad de recogida<sup>0.6</sup>

Units: unidades/día

(022) Coeficiente inversión reprocesado= Ratio de expansión de capacidad de reprocesado<sup>0.6</sup>

Units: unidades/día

(023) Comienzo inversion= Pulse(0,1)\*Capital inicial

Units: €/día

(024) Comienzo necesidades capital=delay fixed(Capital,1,Capital)

Units: €/día

(025) Comienzo prestamo= zidz(Necesidades de prestamo,Necesidades de prestamo)\*Cuota diaria

Units: €/día

(026) Comision de apertura y corretaje=Pulse (0,1)\*Interes apertura\*Limite linea de credito

Units: €/día

(027) Comision no disponibilidad= IF THEN ELSE (ABS(Saldo medio no disponible)<=Limite linea de credito,Saldo medio no disponible\*Interes comision no disponibilidad,0)

Units: €/día

(028) Coste de almacenamiento de inventario de materiales=0.01

Units: €/(día\*unidades)

(029) Coste de almacenamiento de inventario mayoristas=0.4

Units: €/(unidades\*día)

(030) Coste de almacenamiento de inventario minoristas=0.4

Units: €/ (unidades\*día)

(031) Coste de almacenamiento de materiales canibalizables= 0.02

Units: €/ (unidades\*día)

(032) Coste de almacenamiento inventario distribuidores=0.4

Units: €/ (unidades\*día)

(033) Coste de almacenamiento inventario útil= 0.4

Units: €/ (unidades\*día)

(034) Coste de almacenamiento productos reutilizables= 0.4

Units: €/ (unidades\*día)

(035) Coste de compra de materiales para procesar=5

Units: €/unidades

(036) Coste de envío de materiales canibalizables a planta= 0.02

Units: €/unidades

(037) Coste de producción unitario= 800

Units: €/unidades

(038) Coste de reducción capacidad de recogida= 5000

Units: €/unidades

(039) Coste de reprocesado unitario= 25

Units: €/unidades

(040) Coste de transporte a clientes=1

Units: €/unidades

(041) Coste de transporte a distribuidores= 1

Units: €/unidades

(042) Coste de transporte a mayoristas= 1

Units: €/unidades

(043) Coste de transporte a minoristas= 1

Units: €/unidades

(044) Coste diario de almacenamiento de distribuidores= Coste de almacenamiento inventario distribuidores\*Inventario de distribuidores

Units: €/día

(045) Coste diario de almacenamiento de inventario de materiales para procesar=Coste de almacenamiento de inventario de materiales\*Inventario de Materiales para procesar

Units: €/día

(046) Coste diario de almacenamiento de inventario útil= Inventario útil\*Coste de almacenamiento inventario útil

Units: €/día

(047) Coste diario de almacenamiento de materiales canibalizables= Coste de almacenamiento de materiales canibalizables\*Materiales canibalizables

Units: €/día

(048) Coste diario de almacenamiento de Mayoristas= Coste de almacenamiento de inventario mayoristas\*Inventario de Mayoristas

Units: €/día

(049) Coste diario de almacenamiento de Minoristas= Coste de almacenamiento de inventario minoristas\*Inventario de Minoristas

Units: €/día

(050) Coste diario de almacenamiento de productos reutilizables= Productos reprocesables\*Coste de almacenamiento productos reutilizables

Units: €/día

(051) Coste diario de capacidad de recogida=coeficiente inversión recogida\*Costes de infraestructuras por capacidad de recogida+Coeficiente de reducción recogida\*Coste de reducción capacidad de recogida

Units: €/día

(052) Coste diario de capacidad de reprocesado= IF THEN ELSE(Plan de pago cuotas prestamos>0,Plan de pago cuotas prestamos,0)

Units: €/día

(053) Coste diario de compras de materiales para procesar=Coste de compra de materiales para procesar\*Ratio de compra de materiales para procesar

Units: €/día

(054) Coste diario de desensamblado=Coste unitario de desensamblado\*Ratio de Desensamblado

Units: €/día

(055) Coste diario de producción=Coste de producción unitario\*Ratio producción

Units: €/día

(056) Coste diario de recogida=Ratio de recogida\*Coste unitario de recogida

Units: €/día

(057) Coste diario de reprocesado= Ratio de reprocesado\*Coste de reprocesado unitario

Units: €/día

(058) Coste diario de transporte a distribuidores= Coste de transporte a distribuidores\*Envios a Distribuidores

Units: €/día

(059) Coste diario de transporte a Minoristas= Envios a Minoristas\*Coste de transporte a minoristas

Units: €/día

(060) Coste diario de transporte de las ventas= Ventas\*Coste de transporte a clientes

Units: €/día

(061) Coste diario de transporte de materiales canibalizables a planta= Coste de envío de materiales canibalizables a planta\*Ratio de canibalización

Units: €/día

(062) Coste diario de transporte de transporte a Mayoristas= Coste de transporte a mayoristas\*Envios a Mayoristas

Units: €/día

(063) Coste unitario de desensamblado= 10

Units: €/unidades

(064) Coste unitario de recogida= 5

Units: €/unidades

(065) Costes de construcciones por capacidad de reprocesado= 50000

Units: €/unidades

(066) Costes de infraestructuras por capacidad de recogida= 20000

Units: €/unidades

(067) Costes de inversión= Coste diario de capacidad de recogida+Coste diario de capacidad de reprocesado

Units: €/día

(068) Costes operativos=Coste diario de almacenamiento de distribuidores+Coste diario de almacenamiento de inventario útil+Coste diario de almacenamiento de productos reutilizables+Coste diario de producción+Coste diario de recogida+Coste diario de reprocesado+Coste diario de transporte a distribuidores+Coste diario de transporte de las ventas+Coste diario de transporte a Minoristas+Coste diario de almacenamiento de Minoristas+Coste diario de almacenamiento de Mayoristas+Coste diario de transporte de transporte a Mayoristas+Coste diario de desensamblado+Coste diario de almacenamiento de inventario de materiales para procesar+Coste diario de

compras de materiales para procesar+Coste diario de almacenamiento de materiales canibalizables+Coste diario de transporte de materiales canibalizables a planta

Units: €/día

(069) Costes por desechado controlado=Canon de vertedero producto\*(Ratio de desechado controlado+Desechado final)+Ratio de envio a vertedero\*Canon de vertedero materiales

Units: €/día

(070) Costes por desechado incontrolado de productos= Desechado Incontrolado\*Porcentaje de detección por administración\*Tasa impuesta por legislación

Units: €/día

(071) Costes totales por periodo= Costes de inversión+Costes operativos+Costes por desechado incontrolado de productos+Costes por desechado controlado

Units: €/día

(072) Cuota diaria = Cuota mensual/30

Units: €/día

(073) Cuota mensual=(Capital\*Interés/12)/((1-(1+Interés/12)^(-12\*Periodo prestamo Años))

Units: €/mes

(074) Demanda=Patrón de Demanda total(Time)

Units: unidades/día

(075) Demanda esperada= SMOOTH(Demanda, "a-Demanda")

Units: unidades/día

(076) Demanda pendiente= INTEG (Demanda-Ratio de reducción de demanda pendiente, 0)

Units: unidades

(077) Demanda pico=1000

Units: unidades/día

(078) Depreciación de activos= 0.89

Units: Dmnl

(079) Desechado controlado= Productos reprocesables/Tiempo de espera de stock reprocesable

Units: unidades/día

(080) Desechado final=IF THEN ELSE(Inventario de Materiales deseado<Mínimo para liquidación,Productos no reprocesados/Tiempo de envío a vertedero de productos,0)

Units: Unidades

(081) Desechado incontrolado= Productos usados-Ratio de recogida

Units: unidades/día

(082) Diferencial= 0.25

Units: Dmnl

(083) Discrepancia con Inventario Distribuidores= Inventario de Distribuidores deseado-Inventario de distribuidores

Units: unidades

(084) Discrepancia con Inventario Mayoristas=Inventario de Mayoristas deseado-Inventario de Mayoristas

Units: unidades

(085) Discrepancia con Inventario Minoristas=MAX(Inventario de Minoristas deseado-Inventario de Minoristas, 0)

Units: unidades

(086) Discrepancia con inventario útil= Inventario útil deseado-Inventario útil

Units: unidades



(087) Discrepancia de Capacidad de recogida=IF THEN ELSE(ABS(Capacidad de recogida deseada-Capacidad de recogida)>lbc, Capacidad de recogida deseada-Capacidad de recogida, 0)

Units: unidades/día

(088) Discrepancia de Capacidad de reprocesado=IF THEN ELSE(ABS(Capacidad de reprocesado deseada-Capacidad de reprocesado)>lbr, Capacidad de reprocesado deseada-Capacidad de reprocesado, 0)

Units: unidades/día

(089) Discrepancia de Inventario Materiales=Inventario de Materiales deseado-Inventario de Materiales para procesar

Units: unidades

(090) Entrada capital necesario= Capital

Units: €/día

(091) Envios a Distribuidores=MAX( MIN(Inventario útil, Pedidos de Distribuidores pendientes)/Tiempo de envío a distribuidores, 0)

Units: unidades/día

(092) Envios a Mayoristas= MAX( MIN(Inventario de distribuidores, Pedidos de Mayoristas pendientes)/Tiempo de envío a Mayoristas, 0)

Units: unidades/día

(093) Envios a Minoristas= MAX( MIN(Inventario de Mayoristas, Pedidos de Minoristas pendientes)/Tiempo de envío a Minoristas, 0)

Units: unidades/día

(094) Euribor a un año= 1.5

Units: Dmnl

(095) Final necesidades capital= delay fixed(Comienzo necesidades capital,Periodo prestamo dias,Comienzo necesidades capital)

Units: €/día

(096) Final prestamo= delay fixed ( -Comienzo prestamo,Periodo prestamo dias,0)

Units: €/día

(097) FINAL TIME 0= 3600

Units: Día

Tiempo final de la simulación.

(098) Flujo de caja= (Ingresos totales por periodo-Costes totales por periodo)+Comienzo inversion

Units: €/día

(099) Flujo de caja tras intereses= Flujo de entrada+Intereses totales linea de credito

Units: €/día

(100) Flujo de entrada= Flujo de caja-Comision de apertura y corretaje

Units: €/día

(101) Ingresos por liquidación de activos= IF THEN ELSE (Ratio de reducción de capacidad de reprocesado>Mínimo para liquidación,(Ratio de reducción de capacidad de reprocesado/MAX(Ratio de reducción de capacidad de reprocesado,1)),0)\*Capital invertido reprocesado\*Depreciación de activos

Units: €/día

(102) Ingresos por liquidación de inventario de materiales=Precio de liquidación de materiales para producir\*Ratio de liquidación materiales

Units: €/día

(103) Ingresos por Liquidación de inventarios=Ingresos por liquidación de inventarios de Distribuidores+Ingresos por Liquidación de inventarios de la Planta+Ingresos por Liquidación de inventarios de Mayoristas+Ingresos por liquidación de inventarios de Minoristas+Ingresos por liquidación de inventario de materiales

Units: €/día

(104) Ingresos por liquidación de inventarios de Distribuidores= Precio de liquidación Distribuidores\*Liquidación inventario Distribuidores

Units: €/día

(105) Ingresos por Liquidación de inventarios de la Planta= Precio de liquidación  
en planta\*Liquidación inventario útil

Units: €/día

(106) Ingresos por Liquidación de inventarios de Mayoristas= Precio de liquidación  
de Mayoristas\*Liquidación inventario Mayoristas

Units: €/día

(107) Ingresos por liquidación de inventarios de Minoristas= Precio de liquidación  
Minoristas\*Liquidación inventario Minoristas

Units: €/día

(108) Ingresos por venta de materiales en mercados secundarios=Precio venta  
materiales en mercados secundarios\*Ratio de venta materiales en mercados  
secundarios

Units: €/día

(109) Ingresos por ventas= Precio de venta\*Ventas

Units: €/día

(110) Ingresos por ventas de productos en mercados secundarios=Precio venta  
productos usados en mercados secundarios\*Ratio venta productos usados en  
mercados secundarios

Units: €/día

(111) Ingresos totales por periodo= Ingresos por ventas+Ingresos por Liquidación de  
inventarios+Ingresos por liquidación de activos+Ingresos por venta de materiales en  
mercados secundarios+Ingresos por ventas de productos en mercados secundarios

Units: €/día

(112) Interes acreedor=1/100

Units: Dmnl

(113) Interes apertura=1.5/100

Units: Dmnl

(114) Interes comision no disponibilidad=  $0.25/100$

Units: Dmnl

(115) Interes deudor= $8.5/100$

Units: Dmnl

(116) Interes excedido=  $20/100$

Units: Dmnl

(117) Intereses totales linea de credito=  $\text{INTEG}(\text{Liquidacion de intereses}, 0)$

Units: €/día

(118) Intereses totales por prestamos= $\text{Puntero de cálculo de intereses} \times \text{Capital total pagado acumulado} - \text{Puntero de cálculo de intereses} \times \text{Necesidades de capital acumulado}$

Units: €

(119) Interés=  $(\text{Diferencial} + \text{Euribor a un año})/100$

Units: Dmnl

(120) Intervalos de necesidad capital=  $\text{INTEG}(\text{Pulsos necesidad capital}, 0)$

Units: €

(121) Intervalos de necesidad de capital redondeado=  $\text{IF THEN ELSE}(\text{Intervalos de necesidad capital} > 0, \text{Intervalos de necesidad capital}, 0)$

Units: €

(122) Inventario de distribuidores=  $\text{INTEG}(\text{Envios a Distribuidores} - \text{Envios a Mayoristas} - \text{Liquidación inventario Distribuidores}, 0)$

Units: unidades

(123) Inventario de Distribuidores deseado=  $\text{Pedidos esperados Mayoristas} \times \text{Tiempo de cobertura de Inventario Distribuidores}$

Units: unidades

(124) Inventario de Materiales deseado= Pedidos esperados de los Distribuidores\*Tiempo de cobertura Inventario Materiales\*Unidades materiales por producto

Units: unidades

(125) Inventario de Materiales para procesar= INTEG ( Ratio de canibalización+Ratio de compra de materiales para procesar-Ratio consumo materiales-Ratio de liquidación materiales, 0)

Units: unidades

(126) Inventario de Mayoristas= INTEG ( Envios a Mayoristas-Liquidación inventario Mayoristas-Envios a Minoristas, 0)

Units: unidades

(127) Inventario de Mayoristas deseado= Pedidos esperados de los Minoristas\*Tiempo de cobertura de Inventario Mayoristas

Units: unidades

(128) Inventario de Minoristas= INTEG ( Envios a Minoristas-Liquidación inventario Minoristas-Ventas, 0)

Units: unidades

(129) Inventario de Minoristas deseado= Demanda esperada\*Tiempo de cobertura de inventario Minoristas

Units: unidades

(130) Inventario útil= INTEG (Ratio de reprocesado+Ratio producción-Envios a Distribuidores-Liquidación inventario útil, 0)

Units: unidades

(131) Inventario útil deseado=Pedidos esperados de los Distribuidores\*Tiempo de cobertura de inventario útil

Units: unidades

(132) Kc1= 5

Units: Dmnl

$$(133) Kc2 = 5$$

Units: Dmnl

$$(134) Kr1 = 10$$

Units: Dmnl

$$(135) lbc = \text{Paso} * \text{Demanda pico}$$

Units: unidades/día

$$(136) lbr = \text{Paso} * \text{Demanda pico}$$

Units: unidades/día

$$(137) \text{Limite linea de credito} = 50000$$

Units: €

$$(138) \text{Linea de credito} = -\text{Limite linea de credito}$$

Units: €/día

$$(139) \text{Liquidacion de intereses} = -\text{Comision no disponibilidad} + \text{Liquidacion de intereses acreedor} + \text{Liquidación de interes deudor} + \text{Liquidación de intereses excedido}$$

Units: €/día

$$(140) \text{Liquidacion de intereses acreedor} = \text{Periodo de liquidacion de intereses} * \text{Numero comercial acreedor acumulado} * \text{Interes acreedor} / 360$$

Units: €/día

$$(141) \text{Liquidación de interes deudor} = \text{Interes deudor} * \text{Numero comercial deudor acumulado} * \text{Periodo de liquidacion de intereses} / 360$$

Units: €/día

$$(142) \text{Liquidación de intereses excedido} = \text{Interes excedido} * \text{Numero comercial excedido acumulado} * \text{Periodo de liquidacion de intereses} / 360$$

Units: €/día

(143) Liquidación inventario Distribuidores=IF THEN ELSE(Inventario de Distribuidores deseado<Mínimo para liquidación, Inventario de distribuidores/Tiempo liquidación inventario Distribuidores, 0)

Units: unidades/día

(144) Liquidación inventario Mayoristas= IF THEN ELSE(Inventario de Mayoristas deseado<Mínimo para liquidación, Inventario de Mayoristas/Tiempo liquidación inventario mayoristas, 0)

Units: unidades/día

(145) Liquidación inventario Minoristas= IF THEN ELSE(Inventario de Minoristas deseado<Mínimo para liquidación, Inventario de Minoristas/Tiempo liquidación inventario minoristas, 0 )

Units: unidades/día

(146) Liquidación inventario útil=IF THEN ELSE(Inventario útil deseado<Mínimo para liquidación, Inventario útil/Tiempo liquidación inventario útil, 0)

Units: unidades/día

(147) Materiales a vertedero controlado= INTEG ( Ratio de envío a vertedero, 0)

Units: unidades

(148) Materiales canibalizables= INTEG ( Ratio de canibalizables-Ratio de canibalización-Ratio de venta materiales en mercados secundarios, 0)

Units: unidades

(149) Materiales desensamblados= INTEG ( Ratio desensamblados-Ratio de envío a vertedero-Ratio de canibalizables, 0)

Units: unidades

(150) Materiales liquidados en mercados secundarios= INTEG ( Ratio de liquidación materiales, 0)

Units: unidades

(151) Materiales vendidos en mercados secundarios= INTEG ( Ratio de venta materiales en mercados secundarios, 0)

Units: unidades

(152) Mínimo para liquidación= 100

Units: unidades

(153) Necesidades de capital acumulado= INTEG (Entrada capital necesario, 0)

Units: €

(154) Necesidades de inversión en capacidad de reprocesado= Coeficiente inversión reprocesado\*Costes de construcciones por capacidad de reprocesado

Units: €/día

(155) Necesidades de prestamo= Necesidades de inversión en capacidad de reprocesado

Units: €/día

(156) Numero comercial acreedor acumulado= INTEG ( Ratio acreedor-Puesta a cero N° comercial acreedores, 0)

Units: €\*día

(157) Numero comercial deudor acumulado= INTEG ( Ratio deudor-Puesta a cero N° comercial deudores, 0)

Units: €\*día

(158) Numero comercial excedido acumulado= INTEG ( Ratio excedido-Puesta a cero n° comercial excedido, 0)

Units: €\*día

(159) Pagos= Coste diario de capacidad de reprocesado

Units: €/día

(160) Paso= 0.01

Units: Dmnl

(161) Patrón de Demanda total([(0,0)-(600,2000)],(0,0),(70,30),(140,100),(210,800),(280,900),(350,1000),(903,1000),(910,10



00),(1260,1000),(1267,1000),(1400,1000),(1470,900),(1540,800),(1610,100),(1680,30),  
(1750,0),(2100,0),(3600,0))

Units: unidades/día

Patrón esperado de demanda. Estimación según el ciclo de vida de  
diversos productos

(162) Pedidos de compra materiales pendiente= INTEG ( Pedidos de materiales-Ratio  
de reducción de pedidos de materiales pendientes, 0)

Units: unidades

(163) Pedidos de Distribuidores= Pedidos esperados Mayoristas+Discrepancia con  
Inventario Distribuidores/Tiempo de ajuste Inventario Distribuidores

Units: unidades/día

(164) Pedidos de Distribuidores pendientes= INTEG ( Pedidos de Distribuidores-  
Ratio de reducción de pedidos de Distribuidores pendientes, 0)

Units: unidades

(165) Pedidos de materiales=Pedidos esperados de los Distribuidores\*Unidades  
materiales por producto+Discrepancia de Inventario Materiales/Tiempo de ajuste de  
Inventario Materiales

Units: unidades/día

(166) Pedidos de Mayoristas=Pedidos esperados de los Minoristas+Discrepancia con  
Inventario Mayoristas/Tiempo de ajuste inventario Mayoristas

Units: unidades/día

(167) Pedidos de Mayoristas pendientes= INTEG ( Pedidos de Mayoristas-Ratio de  
reducción de pedidos pendientes Mayoristas, 0)

Units: unidades

(168) Pedidos de Minoristas=Demanda esperada+Discrepancia con Inventario  
Minoristas/Tiempo de ajuste Inventario Minoristas

Units: unidades/día

(169) Pedidos de Minoristas pendientes= INTEG ( Pedidos de Minoristas-Ratio de reducción de pedidos pendientes Minoristas, 0)

Units: unidades

(170) Pedidos esperados de los Distribuidores= SMOOTH(Pedidos de Distribuidores, "a-Inventario Distribuidores")

Units: unidades/día

(171) Pedidos esperados de los Minoristas=SMOOTH(Pedidos de Minoristas, "a-Inventario Minoristas")

Units: unidades/día

(172) Pedidos esperados Mayoristas=SMOOTH(Pedidos de Mayoristas, "a-Inventario Mayoristas")

Units: unidades/día

(173) Periodo de liquidacion de intereses= PULSE TRAIN(90,1,90,3600)

Units: día

(174) Periodo prestamo Años= 3

Units: año

(175) Periodo prestamo dias= Periodo prestamo Años\*360

Units: día

(176) Plan de pago cuotas prestamos= INTEG ( pulsos prestamo, 0)

Units: €/día

(177) Porcentaje de aprovechamiento de materiales= Porcentaje de materiales desensamblados sin defectos\*Porcentaje de materiales que se pueden canibalizar

Units: Dmnl

Constante que nos indica el porcentaje de materiales que se pueden reciclar de forma efectiva tras el desensamblaje.

(178) Porcentaje de detección por administración= 0.5

Units: Dmnl

Tanto por ciento de productos incontroladamente desechados que son detectados por la administración.

(179) Porcentaje de error= 0.05

Units: Dmnl

(180) Porcentaje de materiales desensamblados sin defectos= 0.9

Units: Dmnl

(181) Porcentaje de materiales que se pueden canibalizar= 0.8

Units: Dmnl

(182) Porcentaje de venta materiales a mercados secundarios= 0.3

Units: Dmnl

(183) Porcentaje venta productos usados a mercados secundarios= 0.2

Units: Dmnl

(184) Precio de liquidación de materiales para producir= 0.1

Units: €/unidades

(185) Precio de liquidación de Mayoristas= 550

Units: €/unidades

(186) Precio de liquidación Distribuidores= 550

Units: €/unidades

(187) Precio de liquidación en planta= 550

Units: €/unidades

(188) Precio de liquidación Minoristas= 550

Units: €/unidades

(189) Precio de venta= 1100

Units: €/unidades

(190) Precio venta materiales en mercados secundarios= 0.01

Units: €/unidades

(191) Precio venta productos usados en mercados secundarios= 0.01

Units: €/unidades

(192) Productos aceptados para reprocesado=  $\text{Productos recogidos} \cdot (1 - \text{Porcentaje de error}) / \text{Tiempo de inspección}$

Units: unidades/día

(193) Productos desechados controladamente=  $\text{INTEG} (\text{Desechado final} + \text{Ratio de desechado controlado}, 0)$

Units: unidades

(194) Productos incontroladamente desechados=  $\text{INTEG} (\text{Desechado incontrolado}, 0)$

Units: unidades

(195) Productos liquidados en mercados secundarios=  $\text{INTEG} (\text{Liquidación inventario Distribuidores} + \text{Liquidación inventario Mayoristas} + \text{Liquidación inventario Minoristas} + \text{Liquidación inventario útil}, 0)$

Units: unidades

(196) Productos no reprocesados=  $\text{INTEG} (\text{Desechado controlado} + \text{Productos rechazados para reprocesado} - \text{Desechado final} - \text{Ratio de desechado controlado} - \text{Ratio de Desensamblado} - \text{Ratio venta productos usados en mercados secundarios}, 0)$

Units: unidades

(197) Productos rechazados para reprocesado=  $\text{Productos recogidos} \cdot \text{Porcentaje de error} / \text{Tiempo de inspección}$

Units: unidades/día

(198) Productos recogidos=  $\text{INTEG} (\text{Ratio de recogida} - \text{Productos aceptados para reprocesado} - \text{Productos rechazados para reprocesado}, 0)$

Units: unidades

(199) Productos reprocesables= INTEG ( Productos aceptados para reprocesado-  
Desechado controlado-Ratio de reprocesado, 0)

Units: unidades

(200) Productos usados= SMOOTH(Ventas,Tiempo de residencia)

Units: unidades/día

(201) Productos usados vendidos en mercados secundarios= INTEG ( Ratio venta  
productos usados en mercados secundarios, 0)

Units: unidades

(202) Puesta a cero N° comercial acreedores= Numero comercial acreedor  
acumulado\*Periodo de liquidacion de intereses

Units: €

(203) Puesta a cero N° comercial deudores= Numero comercial deudor  
acumulado\*Periodo de liquidacion de intereses

Units: €

(204) Puesta a cero n° comercial excedido= Numero comercial excedido  
acumulado\*Periodo de liquidacion de intereses

Units: €

(205) Pulsos necesidad capital=Comienzo necesidades capital-Final necesidades  
capital

Units: Dmnl

(206) pulsos prestamo= Comienzo prestamo+Final prestamo

Units: Dmnl

(207) Puntero de cálculo de intereses= Pulse(FINAL TIME 0,1)

Units: Dmnl

(208) Ratio acreedor= Saldo acreedor

Units: €

(209) Ratio consumo materiales=  $\frac{\text{Ratio producción} \times \text{Unidades materiales por producto}}{\text{producto}}$

Units: unidades/día

(210) Ratio de canibalizables= $\frac{\text{MAX}((\text{Materiales desensamblados} \times \text{Porcentaje de aprovechamiento de materiales}) / \text{Tiempo de clasificación canibalizables}, 0)}$

Units: unidades/día

(211) Ratio de canibalización= $\frac{\text{MAX}(\text{Materiales canibalizables} / \text{Tiempo de envío a Inventario de materiales}, 0)}$

Units: unidades/día

(212) Ratio de compra de materiales para procesar= $\frac{\text{MAX}((\text{Pedidos de compra materiales pendiente} / \text{Tiempo de recepción de materiales comprados}) - \text{Ratio de canibalización}, 0)}$

Units: unidades/día

(213) Ratio de contracción de capacidad de recogida= $\frac{\text{MAX}(-\text{Discrepancia de Capacidad de recogida} \times K_c, 0)}$

Units: unidades/día

(214) Ratio de desechado controlado= $\frac{\text{MIN}(\text{MAX}(\text{Desechado controlado} + \text{Productos rechazados para reprocesado} - \text{Ratio de Desensamblado} - \text{Ratio venta productos usados en mercados secundarios}, 0), \text{Productos no reprocesados} / \text{Tiempo de envío a vertedero de productos})}$

Units: unidades/día

(215) Ratio de Desensamblado= $\frac{\text{MAX}(\text{MIN}(\text{Productos no reprocesados} / \text{Tiempo de desensamblado}, \text{Capacidad de desensamblado}), 0)}$

Units: unidades/día

(216) Ratio de envío a vertedero= $\frac{\text{MAX}((\text{Materiales desensamblados} \times (1 - \text{Porcentaje de aprovechamiento de materiales})) / \text{Tiempo de envío de materiales a vertedero}, 0)}$

Units: unidades/día

(217) Ratio de expansión de capacidad de reprocesado=  $\text{MAX}(\text{Kr1} * \text{Discrepancia de Capacidad de reprocesado}, 0)$

Units: unidades/día

(218) Ratio de expansión de la Capacidad de recogida=  $\text{MAX}(\text{Kc1} * \text{Discrepancia de Capacidad de recogida}, 0)$

Units: unidades/(día\*día)

(219) Ratio de incremento de capacidad de recogida=  $\text{SMOOTH}(\text{Ratio de expansión de la Capacidad de recogida}, \text{Tc1})$

Units: unidades/(día\*día)

(220) Ratio de incremento de la capacidad de reprocesado=  $\text{SMOOTH}(\text{Ratio de expansión de capacidad de reprocesado}, \text{Tr1})$

Units: unidades/(día\*día)

(221) Ratio de liquidación materiales=  $\text{IF THEN ELSE} (\text{Inventario de Materiales deseado} < \text{Mínimo para liquidación}, \text{Inventario de Materiales para procesar} / \text{Tiempo de envío de materiales a mercados secundarios}, 0)$

Units: unidades/día

(222) Ratio de recogida=  $\text{MIN}(\text{Capacidad de recogida}, \text{Productos usados})$

Units: unidades/día

(223) Ratio de reducción de capacidad de recogida=  $\text{IF THEN ELSE} (\text{Capacidad de recogida} > \text{Ratio minimo para liquidación}, \text{SMOOTH}(\text{Ratio de contracción de capacidad de recogida}, \text{Tc2}), \text{Capacidad de recogida} / \text{Tc2})$

Units: unidades/(día\*día)

(224) Ratio de reducción de capacidad de reprocesado=  $\text{IF THEN ELSE} (\text{Capacidad de reprocesado deseada} < \text{Ratio minimo para liquidación}, \text{Capacidad de reprocesado} / \text{Tiempo de liquidación activos}, 0)$

Units: unidades/(día\*día)

(225) Ratio de reducción de demanda pendiente= Ventas

Units: unidades/día

(226) Ratio de reducción de pedidos de Distribuidores pendientes= Envios a Distribuidores

Units: unidades/día

(227) Ratio de reducción de pedidos de materiales pendientes= Ratio de compra de materiales para procesar

Units: unidades/día

(228) Ratio de reducción de pedidos pendientes Mayoristas= Envios a Mayoristas

Units: unidades/día

(229) Ratio de reducción de pedidos pendientes Minoristas= Envios a Minoristas

Units: unidades/día

(230) Ratio de reprocesado= MAX( MIN(Productos reprocesables/Tiempo de reprocesado, Capacidad de reprocesado ), 0)

Units: unidades/día

(231) Ratio de venta materiales en mercados secundarios=Porcentaje de venta materiales a mercados secundarios\*Ratio de canibalizables

Units: unidades/día

(232) Ratio desensamblados=Ratio de Desensamblado\*Unidades materiales por producto

Units: Unidades

(233) Ratio deudor= Saldo deudor

Units: €

(234) Ratio esperado de reprocesado= SMOOTH(Ratio de reprocesado, "a-Ratio Reprocesado")

Units: unidades/día

(235) Ratio excedido= Saldo excedido



Units: €

(236) Ratio minimo para liquidación= 10

Units: unidades/día

(237) Ratio producción=MAX(MIN(Capacidad de producción, MIN( (Inventario de Materiales para procesar/Tiempo de producción) , Pedidos esperados de los Distribuidores -Ratio esperado de reprocesado+Discrepancia con inventario útil/Tiempo de ajuste a Inventario útil)), 0)

Units: unidades/día

(238) Ratio venta productos usados en mercados secundarios= Desechado controlado\*Porcentaje venta productos usados a mercados secundarios

Units: unidades/día

(239) Relacion capacidades Desensamblado Reprocesado= 2

Units: Dmnl

Constante que expresa la relación entre capacidad de desensamblado y capacidad de reprocesado.

(240) Saldo acreedor=IF THEN ELSE (Flujo de caja tras intereses>0, Flujo de caja tras intereses,0)

Units: €

(241) Saldo deudor= IF THEN ELSE (Flujo de caja tras intereses<-Limite linea de credito,-Limite linea de credito,MIN(Flujo de caja tras intereses+Saldo acreedor,0))

Units: €

(242) Saldo excedido=IF THEN ELSE (Flujo de caja tras intereses<Limite linea de credito, MIN(Flujo de caja tras intereses-Saldo deudor,0),0)

Units: €

(243) Saldo medio disponible=MIN(ABS((Periodo de liquidacion de intereses\*Numero comercial deudor acumulado+Periodo de liquidacion de intereses\*Numero comercial excedido acumulado )/90),Limite linea de credito)

Units: €

(244) Saldo medio no disponible=ABS(Saldo medio disponible-Periodo de liquidacion de intereses\*Limite linea de credito)

Units: €

(245) Tasa de descuento anual= 0.05

Units: Dmnl

Tasa de descuento anual en tanto por uno

(246) Tasa de descuento diaria=Tasa de descuento anual/360

Units: Dmnl

(247) Tasa impuesta por legislación= 10

Units: €/unidades

(248) Tc1= 56

Units: día

(249) Tc2= 30

Units: día

(250) Tiempo de ajuste a Inventario útil= 1

Units: día

(251) Tiempo de ajuste de Inventario Materiales= 1

Units: día

(252) Tiempo de ajuste Inventario Distribuidores= 7

Units: día

(253) Tiempo de ajuste inventario Mayoristas= 7

Units: día

(254) Tiempo de ajuste Inventario Minoristas= 7

Units: día

(255) Tiempo de clasificación canibalizables= 7

Units: día

(256) Tiempo de cobertura de Inventario Distribuidores= 1

Units: día

(257) Tiempo de cobertura de Inventario Mayoristas= 1

Units: día

(258) Tiempo de cobertura de inventario Minoristas= 1

Units: día

(259) Tiempo de cobertura de inventario útil= 1

Units: día

(260) Tiempo de cobertura Inventario Materiales= 1

Units: día

(261) Tiempo de desensamblado= 7

Units: día

(262) Tiempo de envío a Inventario de materiales= 7

Units: día

(263) Tiempo de envío a Mayoristas= 1

Units: día

(264) Tiempo de envío a vertedero de productos= 1

Units: día

(265) Tiempo de envío de materiales a mercados secundarios= 56

Units: día

(266) Tiempo de envío de materiales a vertedero= 14

Units: día

(267) Tiempo de envío a distribuidores= 1

Units: día

(268) Tiempo de envío a Minoristas= 1

Units: día

(269) Tiempo de espera de stock reprocesable= 28

Units: día

(270) Tiempo de inspección= 7

Units: día

(271) Tiempo de liquidación activos= 1

Units: día

(272) Tiempo de producción= 1

Units: día

(273) Tiempo de recepción de materiales comprados= 1

Units: día

(274) Tiempo de reparto a clientes= 1

Units: día

(275) Tiempo de reprocesado= 7

Units: día

(276) Tiempo de residencia= RANDOM NORMAL(70, 210, 140, 14, 5)

Units: día

(277) Tiempo liquidación inventario Distribuidores= 56

Units: día

(278) Tiempo liquidación inventario mayoristas= 56

Units: día

(279) Tiempo liquidación inventario minoristas= 56

Units: día

(280) Tiempo liquidación inventario útil= 56

Units: día

(281) Tr1= 15

Units: día

(282) Unidades materiales por producto= 1

Units: Dmnl

(283) Valor actual de los flujos de caja=  $NPV(\text{Flujo de caja tras intereses}, \text{Tasa de descuento diaria}, 0, 1)$

Units: €

(284) VALOR ACTUAL NETO= Valor actual de los flujos de caja-Comienzo inversion

Units: €

(285) Ventas=  $\text{MIN}(\text{Demanda pendiente}, \text{Inventario de Minoristas}) / \text{Tiempo de reparto a clientes}$

Units: unidades/día

## PARTE TERCERA: SIMULACIÓN

### 11. CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

#### 11.1. CASO DE ESTUDIO: BATERIAS DE IÓN LITIO DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.

Dado que el modelo se ha concebido con la idea de aplicarlo a productos existentes para poder contrastar empíricamente los resultados simulados con la realidad de diversos productos al final de su vida útil se realizará un caso de estudio sobre un producto existente: Las baterías de ión litio de los vehículos eléctricos.

Se han elegido las baterías de ión litio por diversas razones:

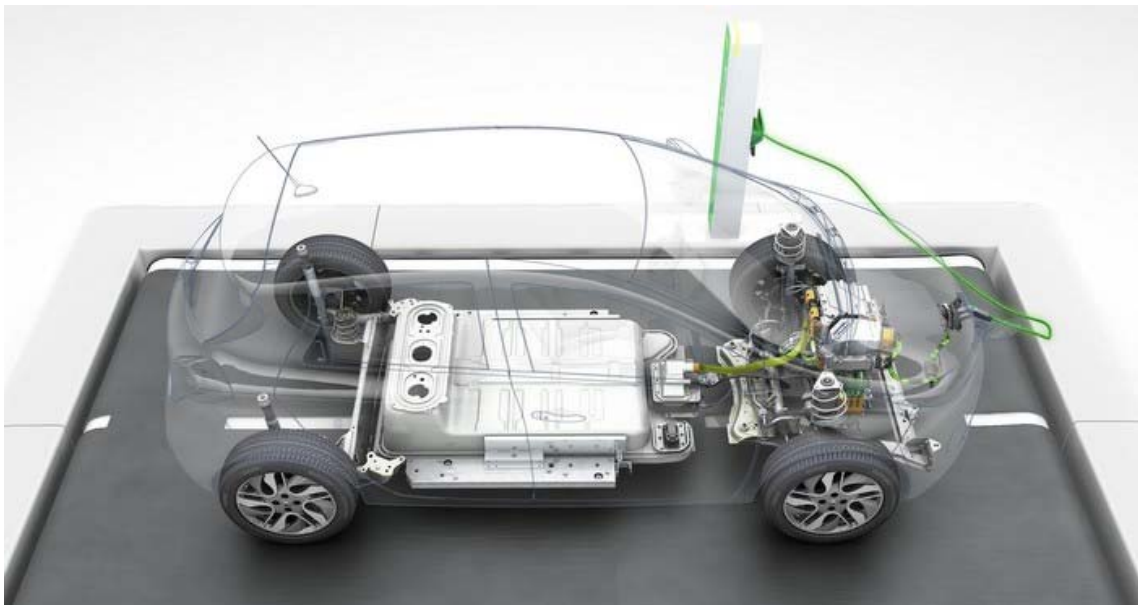
- o Desde un punto de vista tecnológico se trata de un producto en constante evolución y en el que las recientes investigaciones buscan ampliar la autonomía actual de entorno a 200 km/carga a 600 km/carga lo que incrementará su demanda en el mercado.
- o Desde un punto de vista medioambiental se trata de un producto que constituye una de las partes fundamentales del vehículo eléctrico que es menos contaminante que los actuales vehículos basados en motores que emplean combustibles fósiles, lo cual va en consonancia con los objetivos de la logística inversa: recuperar valor y reducir la contaminación.
- o Desde un punto de vista del futuro comercial se espera que durante los próximos años se produzca un aumento en el consumo de las baterías de ión litio fruto de una mejora en los precios de los vehículos eléctricos que los harán más asequibles.
- o Desde un punto de vista de la aplicación del modelo de simulación, el producto es susceptible de aplicarse a todos los flujos desarrollados de la cadena inversa que se han contemplado en el modelo.
- o Desde un punto de vista legislativo existe una normativa que afecta específicamente al producto, el REAL DECRETO 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos.

Ilustración 11-1 Batería de litio de vehículo Renault.



Fuente: <http://www.diariomotor.com>

Ilustración 11-2 Batería de litio de vehículo Renault cargándose.



Fuente: <http://www.diariomotor.com>

## **11.2. DATOS Y PARÁMETROS EMPLEADOS.**

Los datos empleados para configurar el modelo provienen de diversas fuentes:

- Datos que aparecen en artículos estudiados en la revisión bibliográfica (Foster et al. 2014; 1).
- Datos encontrados en páginas web del sector del automóvil.
- Datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística.
- Datos que se han parametrizado por parte del propio doctorando realizando asunciones razonables.

### **11.2.1. Curvas del ciclo de vida consideradas.**

Para poder realizar el estudio se ha considerado que la curva del ciclo de vida de las baterías puede adoptar un perfil alto o bajo en relación a las ventas y que también la duración del ciclo de vida del producto puede adoptar un perfil largo o corto.

Obtenemos así una matriz de trabajo que permitirá el estudio de la variabilidad de las ventas y el ciclo de vida.

Según estudios realizados en el sector (Foster et al. 2014; 1) se estima que pueden darse varios escenarios para las ventas de vehículos eléctricos que son equiparables a las de las baterías de ión litio para los próximos años en el intervalo 2010-2050. (En la simulación 14.400 días).

Las previsiones se realizaron sobre un sector del mercado norteamericano y los escenarios de ventas acumuladas hasta el año 2050 fueron las siguientes:

- Escenario pesimista: 2,2 millones de unidades vendidas acumuladas hasta 2035.
- Escenario medio: 10,41 millones de unidades vendidas acumuladas hasta 2050.
- Escenario optimista: 26,58 millones de unidades vendidas acumuladas hasta 2050.

En el caso de estudio propuesto se trabajará con cuatro patrones de demanda en el que se tendrá un valor de ventas alto o bajo y una duración del ciclo de vida largo o corto y que se basan en los pronósticos anteriores y que se distribuyen entre el escenario pesimista y un valor ligeramente inferior al del escenario medio. Los datos se han adaptado a un mercado como el de España y por lo tanto se han reducido



proporcionalmente teniendo en cuenta el mercado interior y la exportación puesto que en España se fabrican a fecha de hoy 7 modelos de vehículos eléctricos.

Tabla 11-1 Vehículos eléctricos fabricados en España.

| Nombre del vehículo eléctrico         | Imagen del Modelo                                                                    |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Citröen Berlingo Electric (Grupo PSA) |    |
| Comarth Cross Rider (Comarth)         |    |
| eNV200 (Nissan Ibérica)               |    |
| Little 4 (Little Cars)                |   |
| Peugeot Partner Electric (Grupo PSA)  |  |
| Twizy (Renault)                       |  |
| Vito E-Cell (Mercedes)                |  |

Fuente [www.aedive.es](http://www.aedive.es)

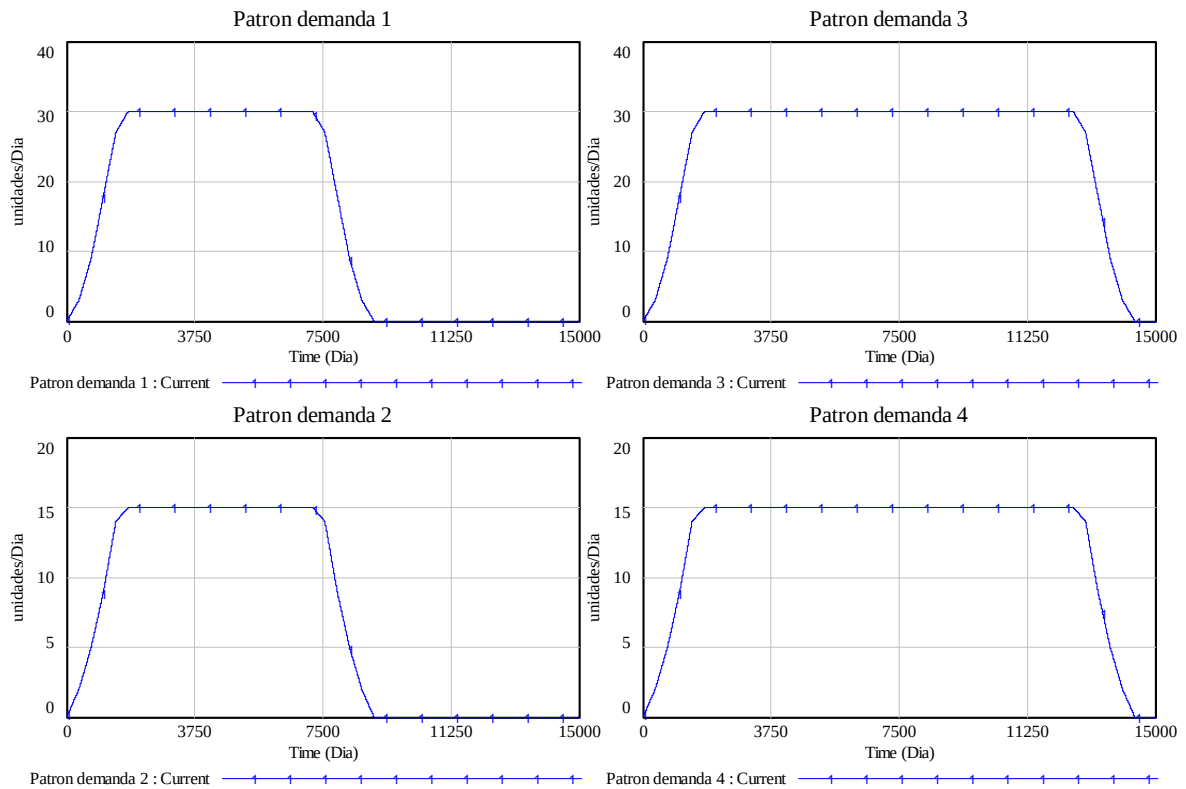
En la tabla 11-2 se indican los parámetros de las curvas del ciclo de vida consideradas.

Tabla 11-2 Tipos de patrones de demanda considerados

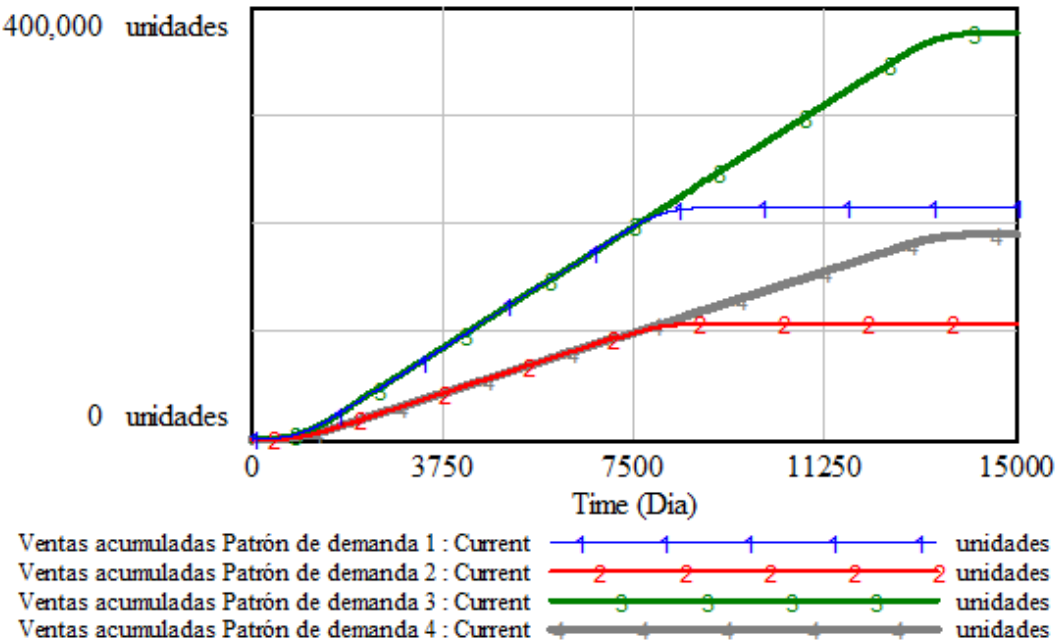
|                             | Ciclo de vida Corto             | Ciclo de vida Largo             |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Nivel de ventas Alto</b> | Patrón 1<br>213.840 ud/ 25 años | Patrón 3<br>375.840 ud/ 40 años |
| <b>Nivel de ventas Bajo</b> | Patrón 2<br>108.000 ud/ 25 años | Patrón 4<br>189.000 ud/ 40 años |

Los patrones de demanda considerados en ventas diarias se muestran en la gráfica 11-1.

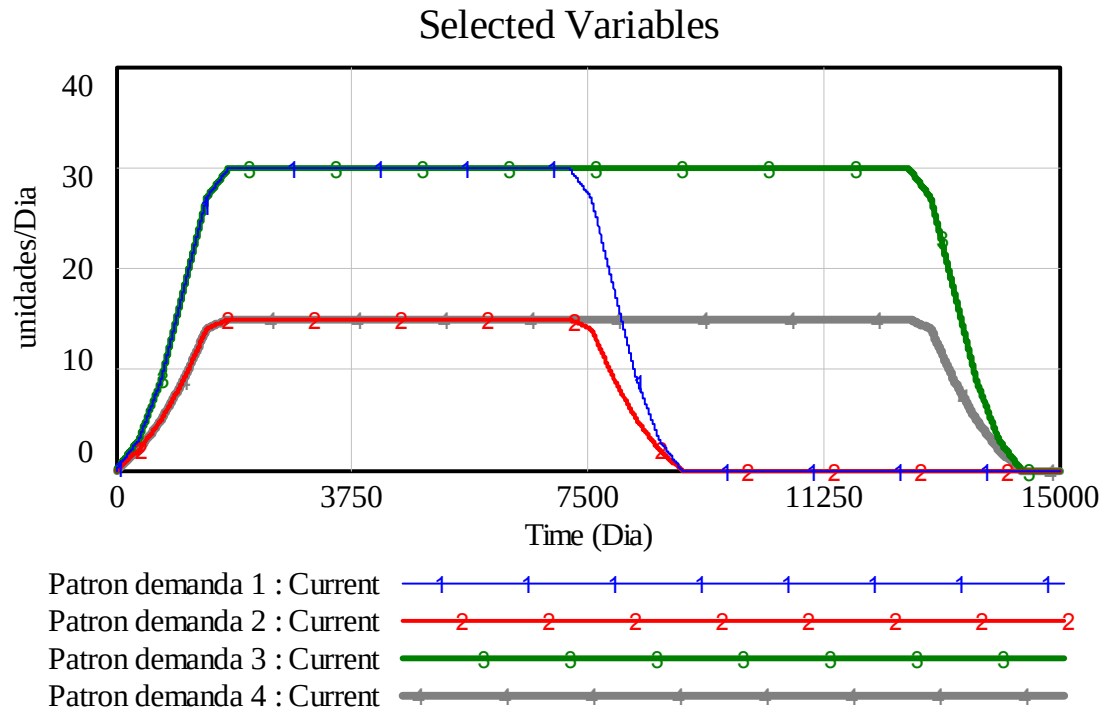
Gráfica 11-1 Patrones de demanda considerados en la simulación.



Gráfica 11-2 Valores acumulados ventas según los patrones de demanda.



Gráfica 11-3 Resumen de patrones de demanda considerados



11.2.2. Precios de partida.

El precio de venta lo consideraremos como la suma de los costes de producción del producto nuevo más los costes de transporte y aplicando un margen de un 20%. El coste de una batería nueva considerado estudios del sector (Foster et al. 2014; 1) es de 10.000 \$/unidad para el producto nuevo. Todos los datos están referidos a una batería del vehículo Chevy Volt.

El coste del transporte hasta el cliente final supone 1.250 \$/ud.

El precio resultante será de 13.500,00 \$/ud.

Como el cambio dólar-euro a la fecha de Septiembre de 2015 es de 1,00 USD = 0,884645 EUR el precio sería 11.942,70 €/unidad, valor que redondeamos a 12.000,00 €/ud.

Para establecer los precios en mercados secundarios y de liquidación se han consultado distintas páginas web de venta de productos de segunda mano y se han realizado por el doctorando asunciones razonables.

El precio de venta en mercados secundarios se considerará inicialmente de 2.400,00 €/unidad. (Foster et al. 2014; 1)

El precio de liquidación se considerará de 400,00 €/unidad.

Los materiales recuperables de una batería con sus precios de venta estimados son los recogidos en la tabla 11-3.

Tabla 11-3 Precios de venta iniciales de los componentes.

| Material                                                   | Precio estimado |
|------------------------------------------------------------|-----------------|
| Cobalto                                                    | 163,66 €        |
| Sales de Litio                                             | 104,39 €        |
| Aluminio                                                   | 104,39 €        |
| Otros (Acero inoxidable, plásticos, papel y otros metales) | 106,16 €        |
| Total                                                      | 478,60 €        |

Adaptado a partir de (Foster et al. 2014; 1)

Dado que se va a trabajar con unidades genéricas y consideramos 4 unidades genéricas por batería asumimos que el precio de venta de los materiales en mercados secundarios es de 119,65 €/ud.

Los materiales suponen el 80% del valor del producto por lo que se supone que cada producto supone 1.769,29 €/unidad (Ver apartado 11.2.3 Costes Operativos)

Para el precio de liquidación de estos materiales se adoptará un valor de 20,00 €/unidad.

Para los ingresos por liquidación de activos se considerará una tasa de depreciación de las instalaciones de la planta de clasificación, reprocesado y desensamblado de productos, según la tabla 11-4 de depreciaciones del Real Decreto 1020/1993 de 25 de junio para Uso 3.º, Fabricación y categoría 3-4-5-6.

Tabla 11-4 Depreciación de edificaciones según RD 1020/1993.

| t              | H          |            |       |            |            |       |            |            |       |
|----------------|------------|------------|-------|------------|------------|-------|------------|------------|-------|
| Años completos | Uso 1.º    |            |       | Uso 2.º    |            |       | Uso 3.º    |            |       |
|                | Categorías |            |       | Categorías |            |       | categorías |            |       |
|                | 1-2        | 3-4<br>5-6 | 7-8-9 | 1-2        | 3-4<br>5-6 | 7-8-9 | 1-2        | 3-4<br>5-6 | 7-8-9 |
| 0 - 4          | 1,00       | 1,00       | 1,00  | 1,00       | 1,00       | 1,00  | 1,00       | 1,00       | 1,00  |
| 5 - 9          | 0,93       | 0,92       | 0,90  | 0,93       | 0,91       | 0,89  | 0,92       | 0,90       | 0,88  |
| 10 - 14        | 0,87       | 0,85       | 0,82  | 0,86       | 0,84       | 0,80  | 0,84       | 0,82       | 0,78  |
| 15 - 19        | 0,82       | 0,79       | 0,74  | 0,80       | 0,77       | 0,72  | 0,78       | 0,74       | 0,69  |
| 20 - 24        | 0,77       | 0,73       | 0,67  | 0,75       | 0,70       | 0,64  | 0,72       | 0,67       | 0,61  |
| 25 - 29        | 0,72       | 0,68       | 0,61  | 0,70       | 0,65       | 0,58  | 0,67       | 0,61       | 0,54  |
| 30 - 34        | 0,68       | 0,63       | 0,56  | 0,65       | 0,60       | 0,53  | 0,62       | 0,56       | 0,49  |
| 35 - 39        | 0,64       | 0,59       | 0,51  | 0,61       | 0,56       | 0,48  | 0,58       | 0,51       | 0,44  |
| 40 - 44        | 0,61       | 0,55       | 0,47  | 0,57       | 0,52       | 0,44  | 0,54       | 0,47       | 0,39  |
| 45 - 49        | 0,58       | 0,52       | 0,43  | 0,54       | 0,48       | 0,40  | 0,50       | 0,43       | 0,35  |
| 50 - 54        | 0,55       | 0,49       | 0,40  | 0,51       | 0,45       | 0,37  | 0,47       | 0,40       | 0,32  |
| 55 - 59        | 0,52       | 0,46       | 0,37  | 0,48       | 0,42       | 0,34  | 0,44       | 0,37       | 0,29  |
| 60 - 64        | 0,49       | 0,43       | 0,34  | 0,45       | 0,39       | 0,31  | 0,41       | 0,34       | 0,26  |
| 65 - 69        | 0,47       | 0,41       | 0,32  | 0,43       | 0,37       | 0,29  | 0,39       | 0,32       | 0,24  |
| 70 - 74        | 0,45       | 0,39       | 0,30  | 0,41       | 0,35       | 0,27  | 0,37       | 0,30       | 0,22  |
| 75 - 79        | 0,43       | 0,37       | 0,28  | 0,39       | 0,33       | 0,25  | 0,35       | 0,28       | 0,20  |
| 80 - 84        | 0,41       | 0,35       | 0,26  | 0,37       | 0,31       | 0,23  | 0,33       | 0,26       | 0,19  |
| 85 - 89        | 0,40       | 0,33       | 0,25  | 0,36       | 0,29       | 0,21  | 0,31       | 0,25       | 0,18  |
| 90 - más       | 0,39       | 0,32       | 0,24  | 0,35       | 0,28       | 0,20  | 0,30       | 0,24       | 0,17  |

Se realizará un estudio de sensibilidad sobre estos precios y además se considerará la posibilidad de que el precio vaya descendiendo, fruto de los cambios en las tecnologías y de la reducción de los costes por efecto de la curva de la experiencia. En la tabla 11-5 se resumen los precios asumidos.

Tabla 11-5 Precios de venta considerados en el año inicial de la simulación.

| Ingresos considerados                                                   | Precio estimado    |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Ingresos por venta de productos.                                        | 12.000,00 €/unidad |
| Ingresos por venta de productos en mercados secundarios.                | 2.400,00 €/unidad  |
| Ingresos por venta de productos por liquidación.                        | 400,00 €/unidad    |
| Ingresos por venta de materiales para procesar en mercados secundarios. | 119,65 €/ud.       |
| Ingresos por venta de materiales para procesar por liquidación.         | 20,00 €/unidad     |
| Ingresos por liquidación de activos                                     | Según tabla 11-4   |

### 11.2.3. Costes operativos de partida.

El coste de producción de una batería nueva del modelo Chevy Volt es de 10.000 \$/unidad. Como el cambio dólar-euro a la fecha de este estudio es de 1,00 USD = 0,884645 EUR adoptaremos un coste de producción de producto nuevo de 8.846,45 €/unidad.

Este coste se divide en un 80% destinado a compra de materiales, un 10% de mano de obra y otro 10% de gastos generales y de estructura.

La batería se compone de los siguientes productos:

- Cobalto
- Sales de Litio
- Aluminio
- Otros (Acero inoxidable, plásticos, papel y otros metales)

Consideraremos según esto que el producto está compuesto de cuatro materiales genéricos y supondremos que los costes se reparten por igual lo que supondrá que los costes por compra de materiales para procesar son de  $8.846,45 \text{ €} \times 0,8 / 4 = 1.769,29 \text{ €/unidad}$  de material para procesar.

El coste de procesar una batería sin considerar los materiales sería de 1.769,29 €/unidad.

El coste de almacenamiento de considerado es de 20 \$/(pie<sup>2</sup> y año). La equivalencia es 1 pie<sup>2</sup> = 0,092903 m<sup>2</sup>.

En el caso que nos ocupa una batería del modelo Chevy Volt ocupa una superficie de 30,25 pie<sup>2</sup> por lo que almacenar una batería supone anualmente 605 \$/(año unidad) lo que son 535,21 €/(año unidad).

Como una batería se compone de 4 unidades genéricas consideraremos que el coste de almacenamiento medio de la unidad genérica es de 133,80 €/(unidad genérica año).

El coste de reprocesar una batería usada está estimado (Foster et al. 2014; 1) en 2.800 \$/unidad lo que suponen 2.477 €/unidad.

El coste de transporte de se estima en 2,5\$/libra para una distancia media de 1.000 millas. Una batería con el embalaje incluido pesa 500 libras lo que supone un coste de transporte 1.250 \$/unidad a una distancia de 1.000 millas (1.609,344 km). La equivalencia es 1 libra = 0,453592 kg.

Dado que la mayor distancia entre dos capitales de provincia (dentro de la península) es la existente entre Pontevedra y Gerona de 1.267 km asumiremos esa distancia como máximo entre planta de suministro de materiales para procesar y el cliente final. Como tenemos 6 escalones intermedios consideraremos que todos los escalones se encuentran a la misma distancia.

Teniendo en cuenta lo anterior llegamos a un coste de transporte de 164,02 \$/unidad, lo que son 145,10 €/unidad.

El coste de transporte de cada unidad de material genérico siguiendo la misma lógica será de 36,27 €/unidad.

El coste de recogida de una batería se estima en un 1% del valor total de una batería nueva lo que supone 100 \$/ud, lo que son 88,46 €/ud.

El coste unitario de desensamblado se estima en 979 \$/unidad lo que son 866.07 €/unidad.

Se considerará para estos valores una variación anual de un 2% para simular el efecto de la inflación.

Se realizará también un análisis de sensibilidad para los valores más significativos. En la tabla 11-6 se resumen los costes operativos asumidos.

Tabla 11-6 Costes operativos considerados en el año inicial de la simulación.

| <b>Tipo de Costes Operativos</b>                                         | <b>Valor estimado</b> |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Coste diario de compras de materiales para procesar                      | 1.769,29 €/unidad     |
| Coste diario de almacenamiento de inventario de materiales para procesar | 0,37€/unidad          |
| Coste diario de almacenamiento de inventario útil                        | 1,49 €/unidad         |
| Coste diario de transporte a distribuidores                              | 145,10 €/unidad       |
| Coste diario de almacenamiento de distribuidores                         | 1,49 €/unidad         |
| Coste diario de transporte de transporte a Mayoristas                    | 145,10 €/unidad       |
| Coste diario de almacenamiento de Mayoristas                             | 1,49 €/unidad         |
| Coste diario de almacenamiento de Minoristas                             | 1,49 €/unidad         |
| Coste diario de transporte a Minoristas                                  | 145,10 €/unidad       |
| Coste diario de transporte de las ventas                                 | 145,10 €/unidad       |
| Coste diario de almacenamiento de productos reutilizables                | 1,49 €/unidad         |
| Coste diario de producción                                               | 1.769,29 €/unidad.    |
| Coste diario de reprocesado                                              | 2.477,00 €/unidad     |
| Coste diario de recogida                                                 | 88,46 €/ud            |
| Coste diario de desensamblado                                            | 866.07 €/unidad.      |
| Coste diario de almacenamiento de materiales canibalizables              | 0,37€/unidad          |
| Coste diario de transporte de materiales canibalizables a planta         | 36,27 €/unidad        |

#### **11.2.4. Costes de inversión y costes de desechado.**

El Coste diario de capacidad de recogida es el que está vinculado al establecimiento de una determinada capacidad de recogida de productos usados.

Esta capacidad de recogida irá creciendo a medida que el producto se introduzca en el mercado, se estabilizará cuando el producto alcance su demanda normal y decrecerá cuando la demanda del producto lo haga.

El coste de las infraestructuras necesarias para establecer un sistema de recogida de productos usados, por cada unidad de producto recogido, se estima considerando que es necesario disponer de contenedores adecuados para el producto y disponer de



una flota de vehículos que puedan transportarlos hasta el vertedero controlado o hasta la planta de clasificación, reprocesado y desensamblado de productos usados.

Un camión convencional de 18.000 kg de MMA y una TARA de 8.780 kg puede cargar hasta 9.220 kg. Cada batería pesa 500 libras lo que supone unos 226 kg por lo que en un camión completamente lleno podrían cargarse hasta 40 baterías.

Considerando que la máxima demanda estimada supone 30 unidades/día en el caso límite de que se desecharan todas las baterías se tendría la necesidad de disponer de un camión.

Un camión de estas características puede costar unos 200 €/ud con el conductor incluido considerando en todo momento que se subcontratará el servicio, es decir, se considera que se trabaja con un operador logístico en lugar de con camiones propios, lo que flexibiliza en gran medida el ajuste de la capacidad de recogida. Como para llevar una batería es necesario un camión adoptaremos este valor de 200 €/ud por ser bastante conservador.

Consideramos que desinvertir en capacidad de recogida, esto es disponer de menos camiones de recogida, puede suponer unos 10 €/ud en concepto de trámites para reducir el tamaño de la flota.

En relación a los costes por inversión en capacidad de reprocesado, esto es, de construir la planta de clasificación, reprocesado y desensamblado tenemos el valor de referencia indicado por Foster (Foster et al. 2014; 1). Una planta de reprocesado con capacidad para 30.000 ud/año tiene un coste estimado de 25.000.000 \$, lo que suponen 22.116.125,00 €.

Consideraremos un canon de 30 €/ud de batería entregada en vertedero autorizado debido a que contiene sustancias peligrosas. Para los materiales entregados consideraremos 5 €/ud.

El Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos indica en su apartado 1:

*“Este real decreto tiene por objeto, de acuerdo con los principios de «quien contamina paga» y de responsabilidad del productor:*

*a) Prevenir la generación de residuos de pilas y acumuladores, facilitar su recogida selectiva y su correcto tratamiento y reciclaje, con la finalidad de reducir al mínimo su*

*peligrosidad y de evitar la eliminación de las pilas, acumuladores y baterías usados en el flujo de residuos urbanos no seleccionados.*

*b) Establecer normas relativas a la puesta en el mercado de pilas, acumuladores y baterías y, en particular, la prohibición de la puesta en el mercado de pilas y acumuladores que contengan determinadas cantidades de sustancias peligrosas; y*

*c) Establecer normas específicas para la recogida, tratamiento, reciclaje y eliminación de los residuos de pilas y acumuladores y promover un alto nivel de recogida y reciclaje de estos residuos.*

*Con estas medidas, se pretende mejorar el rendimiento ambiental de las pilas, acumuladores y baterías y las actividades de todos los operadores involucrados en su ciclo de vida, como los productores, distribuidores, usuarios finales y, en particular, los recicladores y demás gestores de residuos de pilas y acumuladores”.*

Este Real Decreto está vigente y de no aplicarse la Dirección General de Industria puede imponer las siguientes sanciones reguladas por la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria:

*“Artículo 34. Sanciones.*

*1. Las infracciones serán sancionadas en la forma siguiente:*

*a) Las infracciones leves con multas de hasta 500.000 pesetas.*

*b) Las infracciones graves con multas desde 500.001 hasta 15.000.000 de pesetas.*

*c) Las infracciones muy graves con multas desde 15.000.001 hasta 100.000.000 de pesetas.*

*Se autoriza al Gobierno para actualizar el importe de las sanciones imponibles, de acuerdo con los índices de precios de consumo del Instituto Nacional de Estadística.*

*2. Para determinar la cuantía de las sanciones se tendrán en cuenta las siguientes circunstancias:*

*a) La importancia del daño o deterioro causado.*

*b) El grado de participación y beneficio obtenido.*

- c) *La capacidad económica del infractor.*
- d) *La intencionalidad en la comisión de la infracción.*
- e) *La reincidencia.*

*3. La autoridad sancionadora competente podrá acordar además, en las infracciones graves y muy graves, la pérdida de la posibilidad de obtener subvenciones y la prohibición para celebrar contratos con las Administraciones Públicas, durante un plazo de hasta dos años en las infracciones graves y hasta cinco años en las muy graves...”*

Consideraremos por lo tanto niveles de multas de:

- Hasta 3.000 € por infracciones leves.
- Multas de entre 3.000 € y 90.000 € por infracciones graves.
- Multas de entre 90.000 € y 600.000 € por infracciones muy graves.

Estas multas dependen fundamentalmente de la probabilidad de que la administración detecte que los productos no hayan sido correctamente gestionados al final de su vida útil y el responsable será el productor.

Este valor de la probabilidad de que la administración detecte el problema lo representamos en el modelo mediante la variable **Porcentaje de detección por administración**.

Consideraremos que este valor puede ser variable en función de si las políticas medioambientales imperantes instan a que se realicen más inspecciones o no. Se considerará inicialmente como un 5%.

Consideraremos inicialmente una sanción media de 3.000 €/por unidad desechada incontroladamente.

#### **11.2.5. Parámetros financieros**

Para la estimación del VAN se considerará una tasa de descuento anual de un 5%, aunque este valor puede variar en el estudio de sensibilidad.

Para la parte del préstamo para inversión en reprocesado consideraremos el valor medio del Euribor a un año de los últimos 2 años (0,5063), aunque este valor puede variar en el estudio de sensibilidad.

Tabla 11-7 Evolución del Euribor en 2013 y 2014.

Tabla de datos del Euribor 2014:

| Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo  | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| 0,562 | 0,549   | 0,577 | 0,604 | 0,592 | 0,513 | 0,488 | 0,469  | 0,362      | 0,338   | 0,335     | 0,329     |

Tabla de datos del Euribor 2013:

| Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo  | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| 0,575 | 0,594   | 0,545 | 0,528 | 0,484 | 0,507 | 0,525 | 0,542  | 0,543      | 0,541   | 0,506     | 0,543     |

Adaptadas de <http://www.hipotecasyeuribor.com>.

Con respecto a los valores a aplicar en la línea de crédito se ha considerado la liquidación de intereses cada 90 días.

La comisión de apertura y corretaje se ha estimado en el 1,5 % del límite de crédito.

Los intereses estimados para el saldo acreedor son de un 0,1%, para el saldo deudor son de un 6,5% y para el saldo excedido de un 20%. Se ha considerado también una comisión por no disponibilidad de un 0,25%. Al igual que los parámetros anteriores estos valores pueden variar en el estudio de sensibilidad. Para obtener estos valores el doctorando ha realizado consultas a las entidades Bankinter y La Caixa.

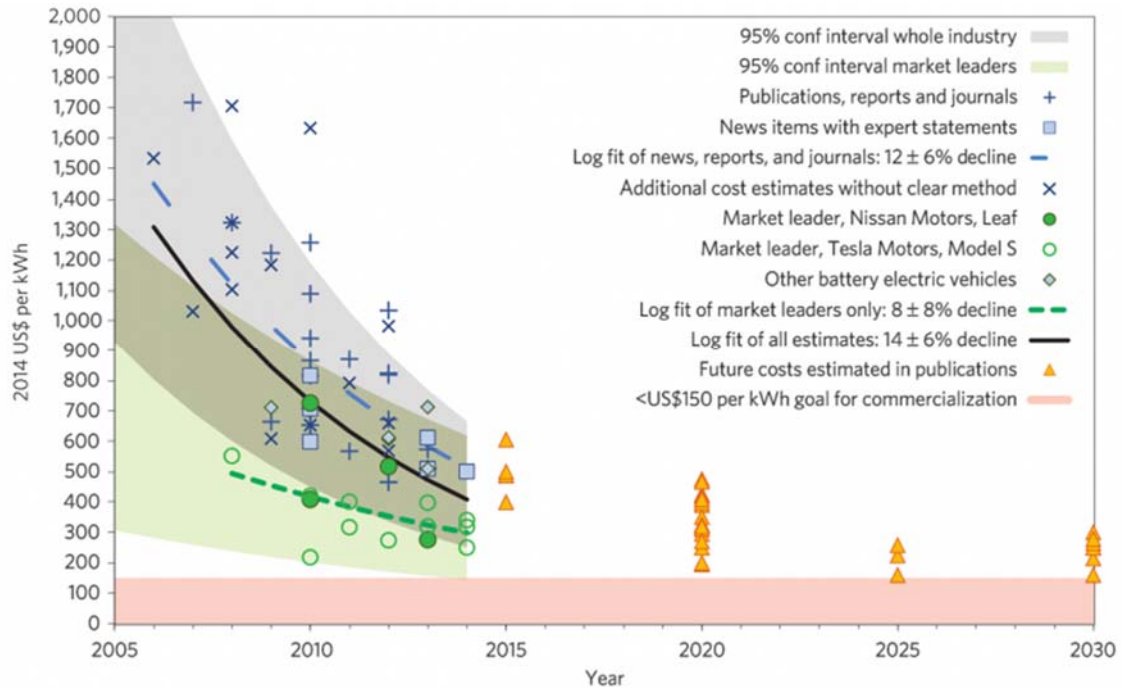
La línea de crédito se cancelará en el momento de liquidación final de inventarios, dando por finalizada la viabilidad de la línea de negocio.

#### **11.2.6. Evolución de los precios y costes considerados**

En el período de estudio considerado se tendrá en cuenta que los costes de producción se reducirán fruto de la experiencia y mejoras tecnológicas.

Como referencia para crear una curva de evolución de los precios tomaremos las estimaciones formuladas por Ramez Naam en 2014 en <http://www.rameznaam.com> y que reproducimos en la gráfica 11-4.

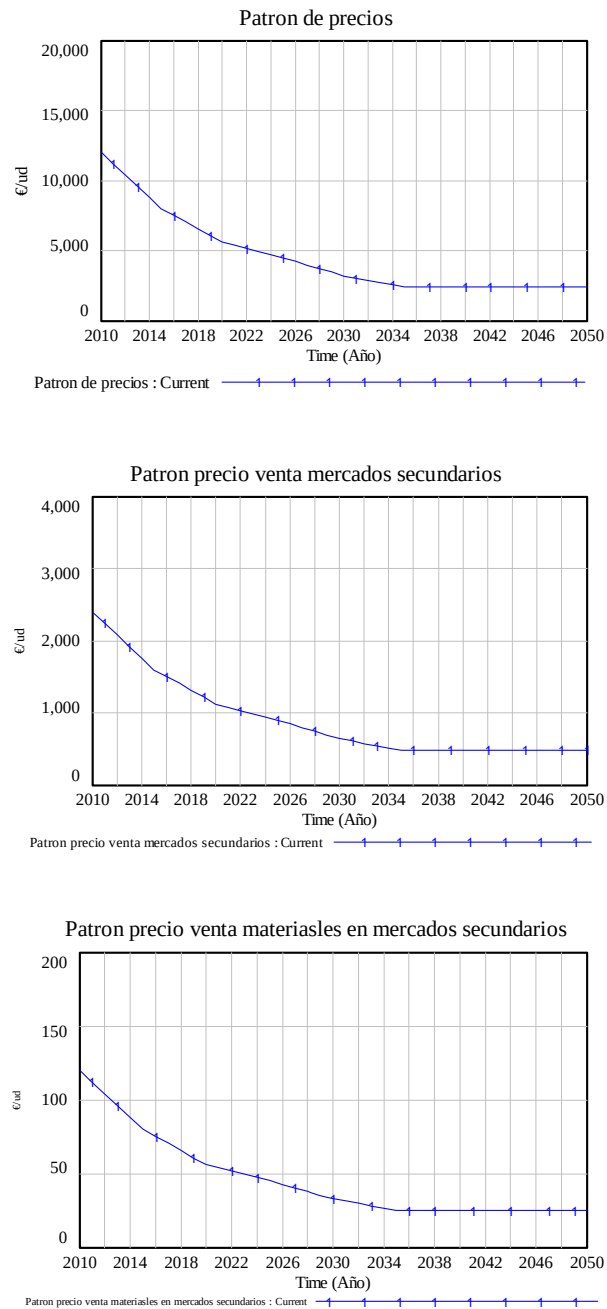
Gráfica 11-4 Evolución de los costes de baterías eléctricas.



Fuente: <http://www.rameznaam.com>

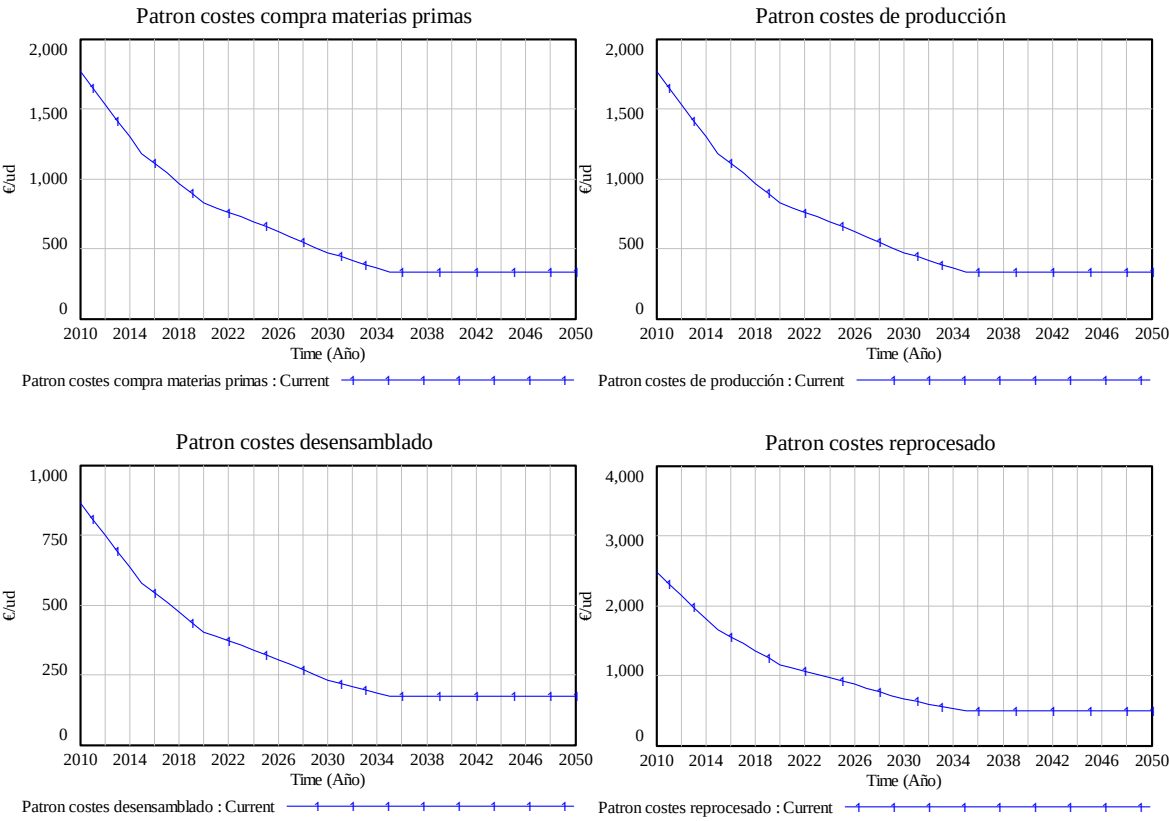
La Curva está referida al precio de kWh producido, por lo que teniendo en cuenta que la simulación la realizaremos entre 2010 y 2040 y que un vehículo eléctrico convencional posee una batería de litio de unos 16 kWh construimos las siguientes curvas de evolución de los precios en euros referenciadas en la gráfica 11-5. Consideramos que esta evolución se produce igualmente en los precios de venta de productos en mercados secundarios y venta de materiales para procesar en mercados secundarios.

Gráfica 11-5 Evolución de los precios considerados en la simulación.



Consideramos igualmente que esta evolución se produce en los costes de compra de materias primas, costes de producción, costes de desensamblado y costes de reprocesado manteniendo el margen del 20% por lo que las curvas empleadas en la simulación son las que se muestran en la gráfica 11-6.

Gráfica 11-6 Evolución de los costes considerados en la simulación.



Para los costes de almacenamiento se considerará que éstos evolucionan por efecto de la inflación.

Según datos del INE (Instituto Nacional de Estadística) la evolución del IPC en los últimos años es la gráfica 11-7:

Gráfica 11-7 Evolución del IPC 1993-2015.



Fuente [www.ine.es](http://www.ine.es)

Gráfica 11-8 Evolución del IPC por meses 2002-2015.



Fuente [www.ine.es](http://www.ine.es)

Dado que en el año 2008 comenzó la crisis económica consideraremos los datos de un período estable desde el año 2002 hasta el año 2008.

Realizando la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov para una distribución de probabilidad de tipo normal aceptamos la hipótesis nula y por tanto



consideramos que el IPC responde a una distribución de probabilidad de tipo normal con media en 3,3357 y desviación típica 0,74164.

Tabla 11-8 Bondad de ajuste a la distribución normal para el IPC entre los años 2002 y 2008.

**Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra**

|                              |                               |                 | IPC     |
|------------------------------|-------------------------------|-----------------|---------|
| N                            |                               |                 | 84      |
| Parámetros normales(a,b)     | Media                         |                 | 3,3357  |
|                              | Desviación típica             |                 | ,74164  |
| Diferencias más extremas     | Absoluta                      |                 | ,066    |
|                              | Positiva                      |                 | ,066    |
|                              | Negativa                      |                 | -,058   |
| Z de Kolmogorov-Smirnov      |                               |                 | ,607    |
| Sig. asintót. (bilateral)    |                               |                 | ,855    |
| Sig. Monte Carlo (bilateral) | Sig.                          |                 | ,829(c) |
|                              | Intervalo de confianza de 99% | Límite inferior | ,819    |
|                              |                               | Límite superior | ,839    |

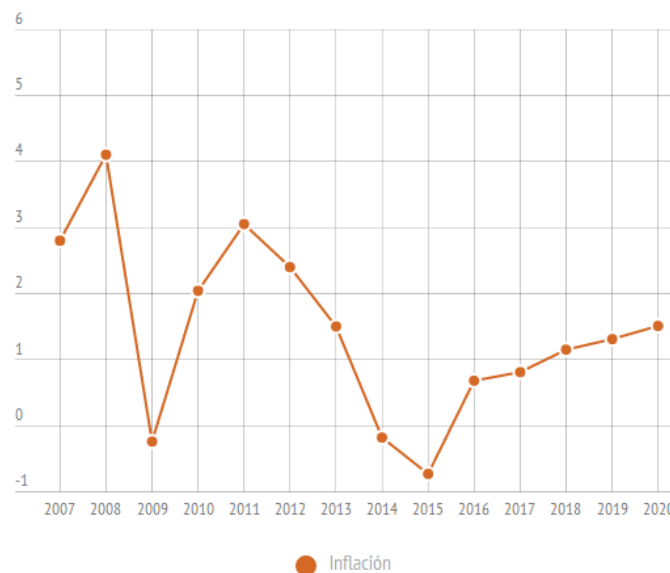
a La distribución de contraste es la Normal.

b Se han calculado a partir de los datos.

c Basado en 10000 tablas muestrales con semilla de inicio 926214481.

Construimos un patrón de evolución de los costes de almacenamiento considerando la inflación prevista hasta el 2020 por el FMI.

Gráfica 11-9 Evolución de la inflación prevista por el FMI hasta 2020. Fecha de elaboración 2013.

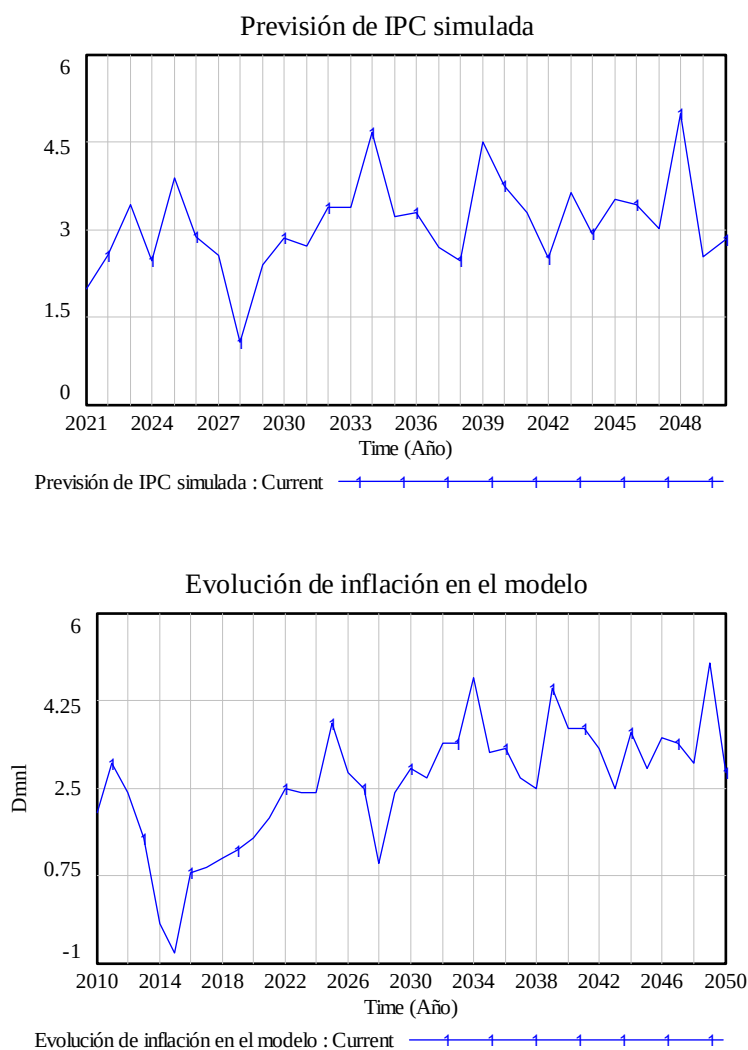


Fuente [www.europapress.es](http://www.europapress.es).

Entre el 2021 y el 2050 completaremos la curva mediante una aproximación del IPC considerando que se comporta como una distribución normal con media en 3,3357 y desviación típica 0,74164.

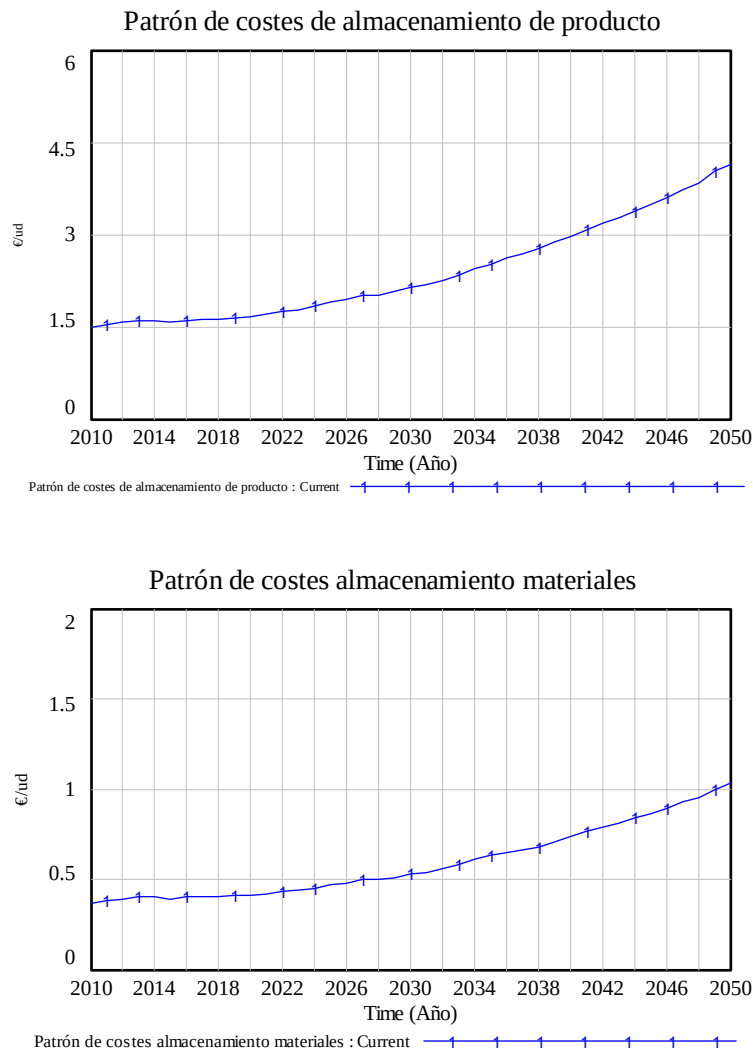
La curva de evolución de la inflación completa que se empleará inicialmente en la simulación será la suma de la previsión de IPC simulada más el histórico con la consideración del FMI.

Gráfica 11-10 Construcción de curva de IPC para la simulación.



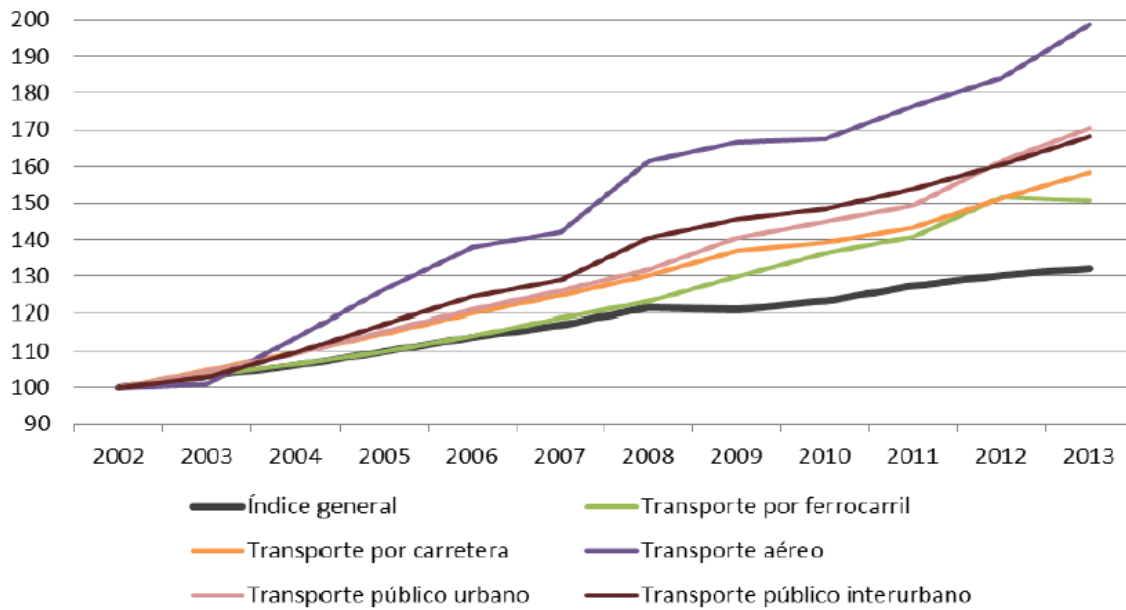
Aplicando esta evolución se consideran los costes de almacenamiento para la simulación que figuran en la gráfica 11-11:

Gráfica 11-11 Evolución de los costes de almacenamiento de la simulación.



Para los costes de transporte consideraremos los datos del Informe anual del Observatorio del transporte y la logística en España de 2014 donde encontramos la gráfica que representa la evolución del Índice general de precios del transporte con base 2002.

Gráfica 11-12 Evolución de los costes de transporte desde 2002 hasta 2013.



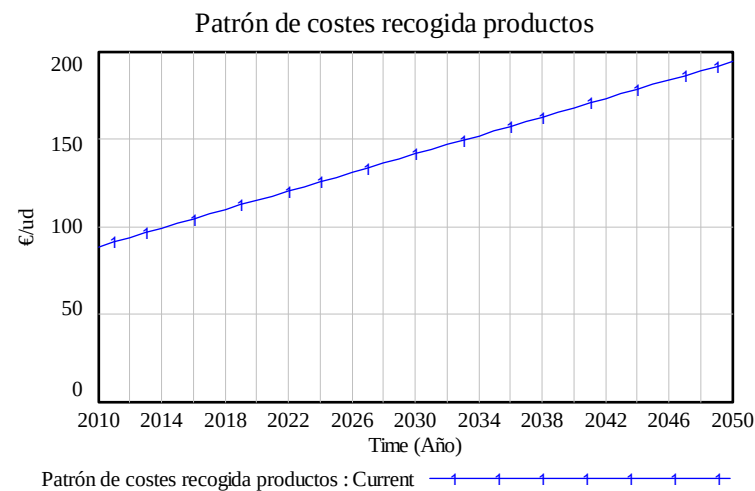
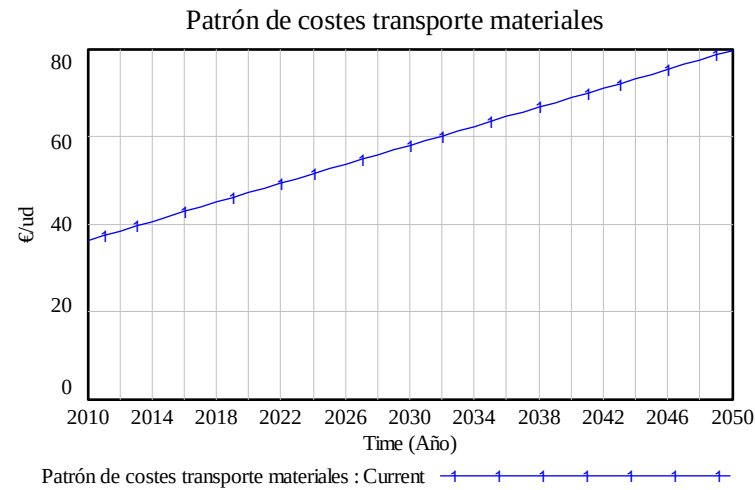
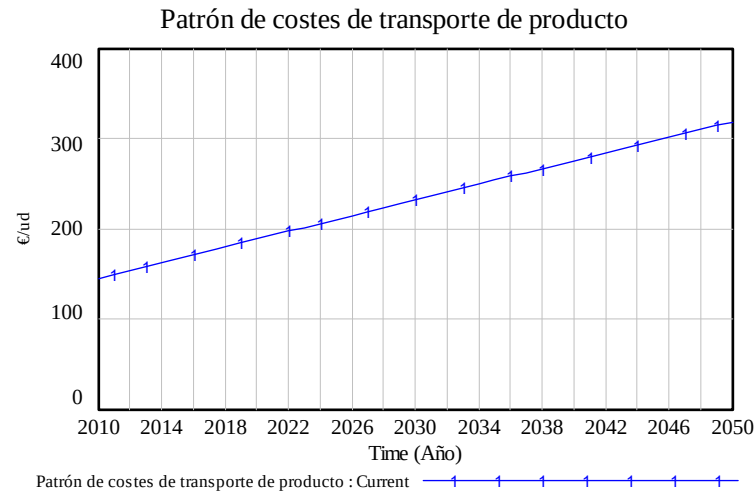
*Fuente: Elaboración propia con datos del Índice de Precios de Consumo. INE*

Fuente Observatorio del transporte y la logística en España (2014)

En la gráfica 11-12 podemos observar cómo los precios del transporte por carretera mantienen una pendiente bastante estable por lo que emplearemos esta tendencia para poder estimar cual será la evolución propuesta durante la simulación.

El índice estimado para el año 2015 sería de 170,91 y para 2050 sería de 307,27 por lo que la evolución de los precios estimados hasta el año 2050 se muestran en la gráfica 11-13.

Gráfica 11-13 Evolución de los costes de transporte empleados en la simulación.



### 11.3. OBJETIVOS GENERALES E HIPÓTESIS DE ESTUDIO

Se tratará de verificar si se cumplen los objetivos generales de la tabla 11-9 así como también verificar las hipótesis para el caso de estudio considerado sobre las baterías de litio de vehículos eléctricos que figuran en la tabla 11-10:

Tabla 11-9 Objetivos Generales e Hipótesis de estudio para el caso de estudio

| Nº | Objetivos Generales propuestos                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | El modelo debe representar correctamente los desfases temporales fruto de los retardos, tiempos de suministro y tiempos de operación (Producción, reprocesado, inspección y desensamblado).                                                                                                              |
| 2  | El modelo debe representar los efectos de la acumulación de inventarios al producirse cambios en la demanda.                                                                                                                                                                                             |
| 3  | El modelo debe representar coherentemente las inercias propias del sistema al finalizar las ventas y mantener la estructura de recogida de productos usados y sus costes asociados.                                                                                                                      |
| 4  | El modelo debe estar preparado para representar distintas proyecciones de evolución de los precios y costes durante el periodo de simulación siendo así una buena herramienta para hacer estudios de tipo “qué pasa si...”.                                                                              |
| 5  | El modelo debe permitir la realización de análisis de sensibilidad mediante la variación de uno o varios de sus parámetros (análisis multivariante) y permite ver la evolución de dicho análisis sobre todas las variables que se desee.                                                                 |
| 6  | El modelo debe representar el efecto látigo o efecto bullwhip propio de las cadenas de suministro.                                                                                                                                                                                                       |
| 7  | El modelo debe representar la liquidación de intereses derivados de la aplicación de las condiciones de una línea de crédito.                                                                                                                                                                            |
| 8  | El modelo debe representar la liquidación de intereses derivados de la aplicación de las condiciones de la línea de crédito.                                                                                                                                                                             |
| 9  | El modelo debe generar un crecimiento y reducción de la capacidad de recogida que se ajuste razonablemente a la capacidad de recogida deseada.                                                                                                                                                           |
| 10 | El modelo debe representar los costes asociados al crecimiento o reducción de la capacidad de reprocesado.                                                                                                                                                                                               |
| 11 | El modelo debe generar un crecimiento y reducción de la capacidad de reprocesado coherente con la capacidad de reprocesado deseada. Además debe permitir la venta de los activos vinculados a la planta de reprocesado.                                                                                  |
| 12 | El modelo debe representar cómo evoluciona el ratio de producción cuando se comienza a disponer de productos reprocesados a través del ratio de reprocesado.                                                                                                                                             |
| 13 | El modelo debe permitir la venta de productos usados a mercados secundarios a precios reducidos.                                                                                                                                                                                                         |
| 14 | El modelo debe representar cómo evoluciona el ratio de compra de materiales a medida que se comienza a disponer de materiales canibalizables a través del ratio de canibalización.                                                                                                                       |
| 15 | El modelo debe permitir la venta de materiales desensamblados a mercados secundarios a precios reducidos.                                                                                                                                                                                                |
| 16 | El modelo debe representar el flujo de materiales provenientes del desensamblado de productos teniendo en cuenta las posibles mermas por la aparición de materiales defectuosos.                                                                                                                         |
| 17 | El modelo debe integrar las opciones de reprocesado, canibalización de componentes, venta de productos en mercados secundarios, venta de materiales desensamblados en mercados secundarios, vertido controlado de productos, vertido controlado de materiales y su correspondiente vertido incontrolado. |

Tabla 11-10 Hipótesis de estudio para el caso de estudio (Objetivos específicos)

| Nº Hipótesis | Hipótesis específicas a verificar para el caso simulado                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | El tipo de patrón de demanda influye en el Valor Actual Neto del conjunto de la red.                                                                                                                                                                                                    |
| 2            | Los patrones de demanda con mayor número de ventas por período y mayor duración siempre producen los mejores resultados del Valor Actual Neto                                                                                                                                           |
| 3            | Una tasa de descuento del Valor Actual Neto elevada producirá peores resultados que una tasa de descuento baja.                                                                                                                                                                         |
| 4            | Un tiempo de residencia elevado producirá peores resultados que un tiempo de residencia bajo.                                                                                                                                                                                           |
| 5            | Un Porcentaje de error en los productos usados elevado producirá peores resultados que un Porcentaje de error bajo.                                                                                                                                                                     |
| 6            | Un Porcentaje de productos desensamblados sin defectos elevado producirá mejores resultados que un tiempo de residencia bajo.                                                                                                                                                           |
| 7            | El hecho de establecer un sistema de recogida de productos usados reduce el impacto de las multas impuestas por vertido incontrolado lo suficiente como para hacer que el Valor Actual Neto sea superior al obtenido si no hay sistema de recogida.                                     |
| 8            | El hecho de establecer un sistema de recogida de productos usados unido al reprocesado hace que el Valor Actual Neto sea superior al obtenido si no hay sistema de recogida.                                                                                                            |
| 9            | El hecho de establecer un sistema de recogida de productos usados unido a la canibalización de componentes hace que el Valor Actual Neto sea superior al obtenido si no hay sistema de recogida.                                                                                        |
| 10           | El hecho de establecer un sistema mixto que integre la recogida de productos, la canibalización de componentes y el reprocesado hace que el Valor Actual Neto sea superior al obtenido si sólo se vincula la recogida al reprocesado y a la canibalización de componentes por separado. |

#### 11.4. ESCENARIOS

Para poder comprobar los objetivos generales y específicos propuestos en el apartado 11-3 se planteará una campaña de experimentos basada en escenarios. Se comenzará con escenarios básicos que se irán enriqueciendo con distintas opciones hasta llegar a un escenario que contemple el conjunto total de opciones planteadas en el modelo.

De esta manera cada escenario contendrá el comportamiento de los anteriores además de las características que le hacen único por lo que el estudio se podrá centrar sobre estos aspectos que le diferencian y se evita realizar análisis que resulten repetitivos. Todos los escenarios contemplan la posibilidad de liquidación de productos al final del ciclo de vida del producto.

A medida que se vayan produciendo operaciones de logística inversa (recogida, canibalización, reprocesado) se establecerá también la posibilidad de realizar ventas en mercados secundarios.

Se planteará en primer lugar un escenario en el que sólo actúe la cadena directa sin recogida de productos usados. Se estudiará el comportamiento de las variables más representativas del modelo y se realizarán los correspondientes análisis de sensibilidad.

En segundo lugar se planteará un escenario en el que sólo actúe la cadena directa y se produzca la recogida de productos usados. Se estudiará el comportamiento de las variables más representativas del modelo y se realizarán los correspondientes análisis de sensibilidad.

En tercer lugar se planteará un escenario en el que actúe la cadena directa, se produzca la recogida de productos usados, el reprocesado de los mismos y la venta de productos en mercados secundarios. Se estudiará el comportamiento de las variables más representativas del modelo y se realizarán los correspondientes análisis de sensibilidad.

En cuarto lugar se planteará un escenario en el que actúe la cadena directa, se produzca la recogida de productos usados, la canibalización de componentes y la venta de materiales en mercados secundarios. Se estudiará el comportamiento de las variables más representativas del modelo y se realizarán los correspondientes análisis de sensibilidad.

Finalmente en quinto lugar se planteará un escenario en el que actúe la cadena directa, se produzca la recogida de productos usados, el reprocesado, la canibalización de componentes, la venta en mercados secundarios de productos y la venta en mercados secundarios de materiales. Se estudiará el comportamiento de las variables más representativas del modelo y se realizarán los correspondientes análisis de sensibilidad.

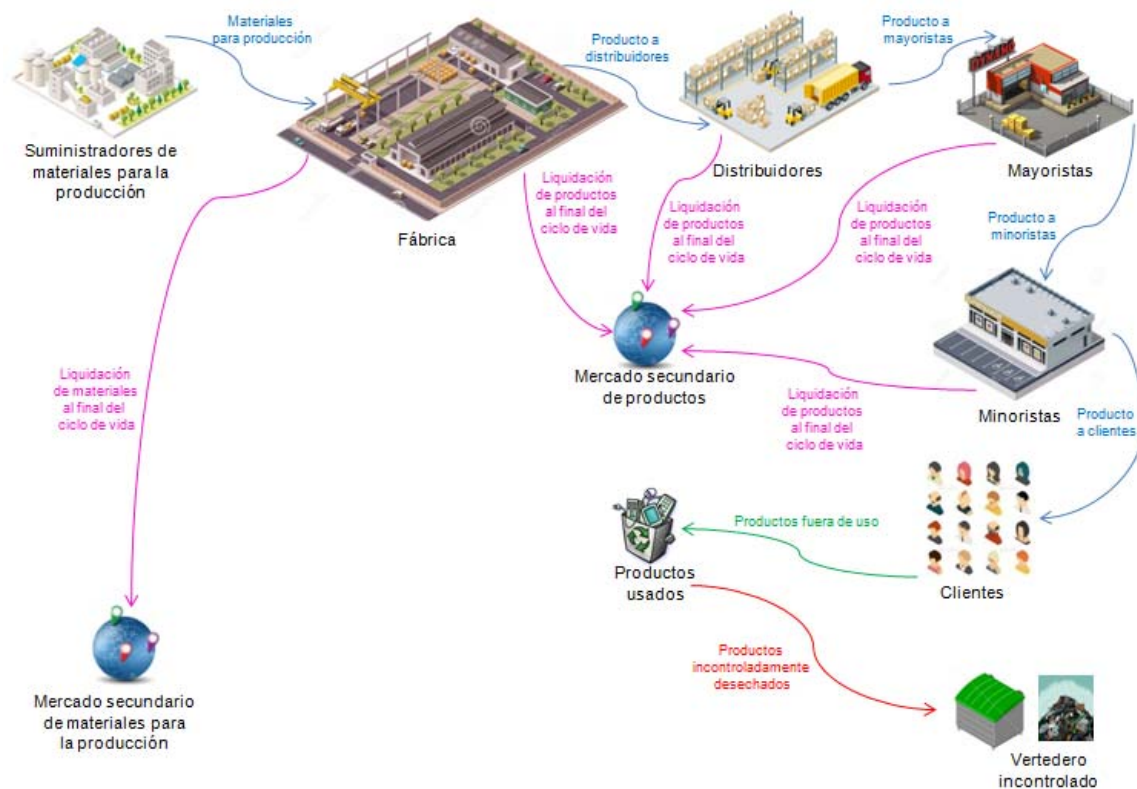




## 12. ESCENARIO 1. CADENA DE SUMINISTRO DIRECTA CON VERTIDO INCONTROLADO DEL PRODUCTO USADO.

Se configura el modelo para que sólo trabaje la cadena directa y no exista recogida de productos. El esquema general de la cadena de suministro sería la ilustración 12-1.

Ilustración 12-1 Esquema de red sólo con cadena directa sin recogida de productos.  
(Escenario 1)

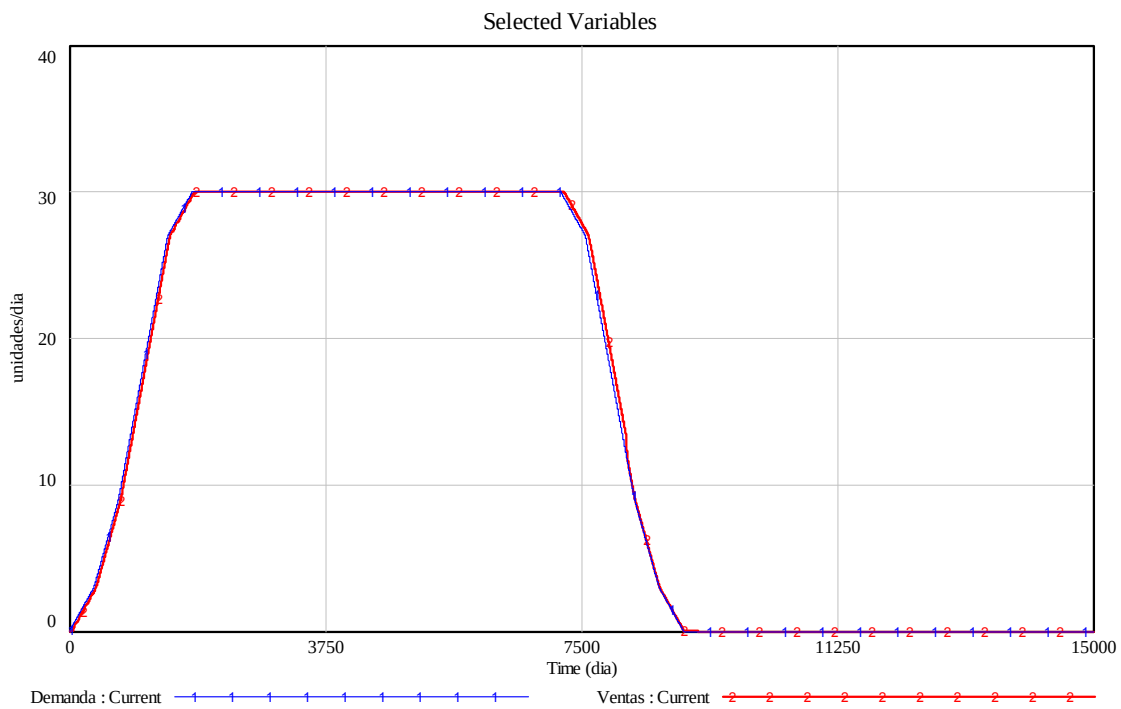


## 12.1. COMPORTAMIENTO DEL MODELO SEGÚN LOS PATRONES DE DEMANDA DEL PRODUCTO.

### 12.1.1. Comportamiento con patrón de demanda 1. (Escenario 1)

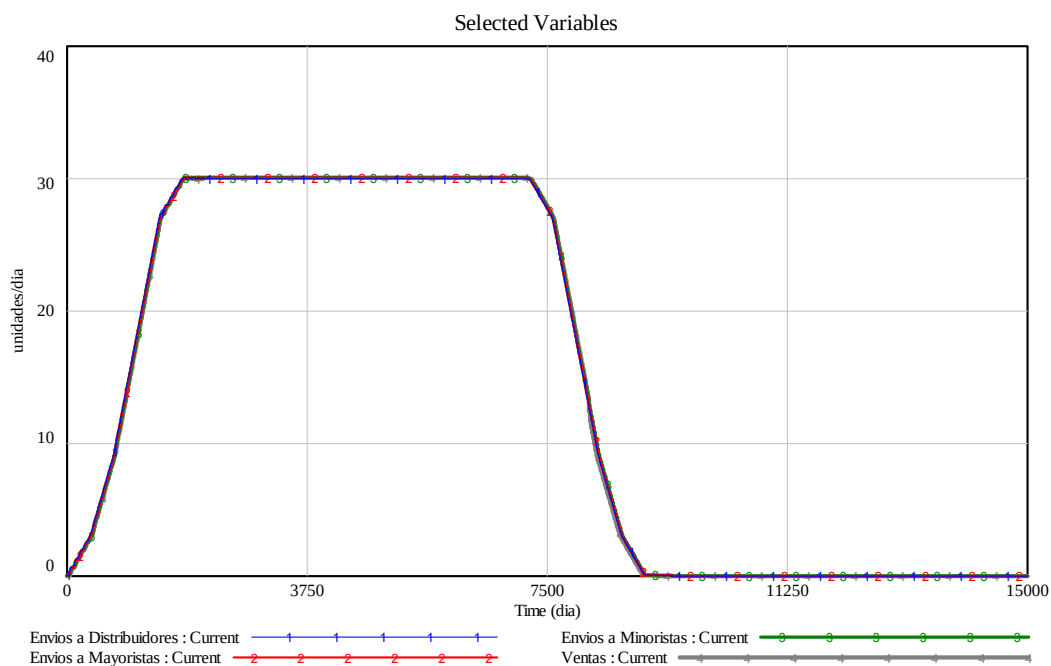
Comenzamos verificando la diferencia entre la **Demanda** y las **Ventas** producida por el tiempo de retardo en suministrar a los clientes.

Gráfica 12-1 Gráfica Demanda-Ventas con Patrón de demanda 1.(Escenario 1)



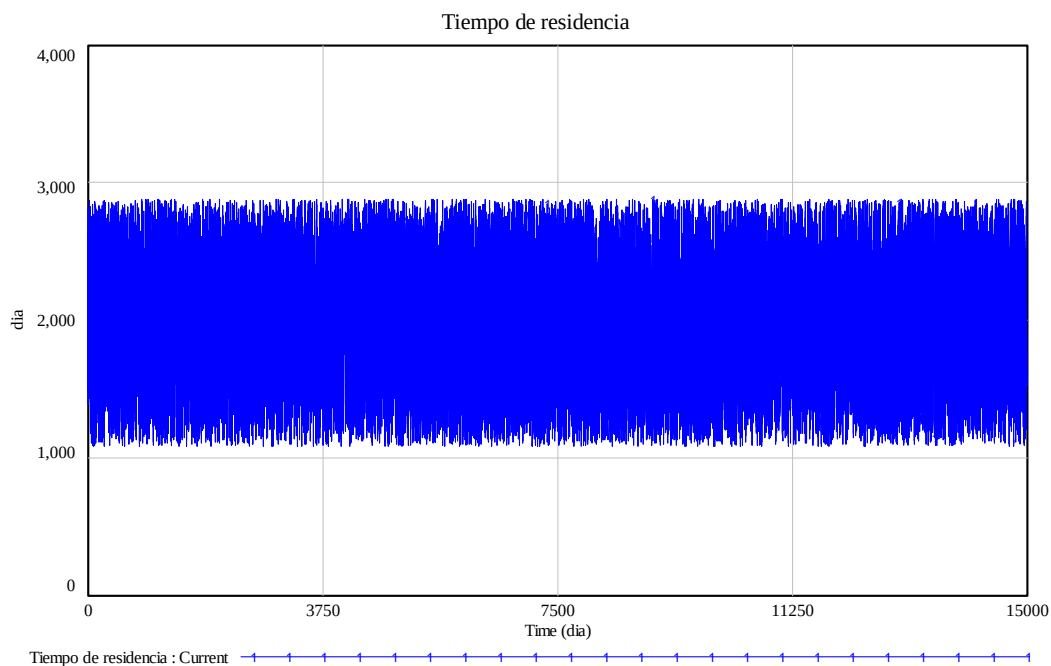
De igual manera vamos comparando los **Envíos a Minoristas** con las **Ventas**, **Envíos a Mayoristas** con **Envíos a Minoristas**, **Envíos a Distribuidores** con **Envíos a Mayoristas**. Puede observarse que la diferencia es muy pequeña, debido a que los tiempos de envío se han considerado de 7 días y la simulación abarca 15.000 días.

Gráfica 12-2 Envíos a Distribuidores, Envíos a Mayoristas, Envíos a Minoristas y Ventas con Patrón de demanda 1. (Escenario 1)



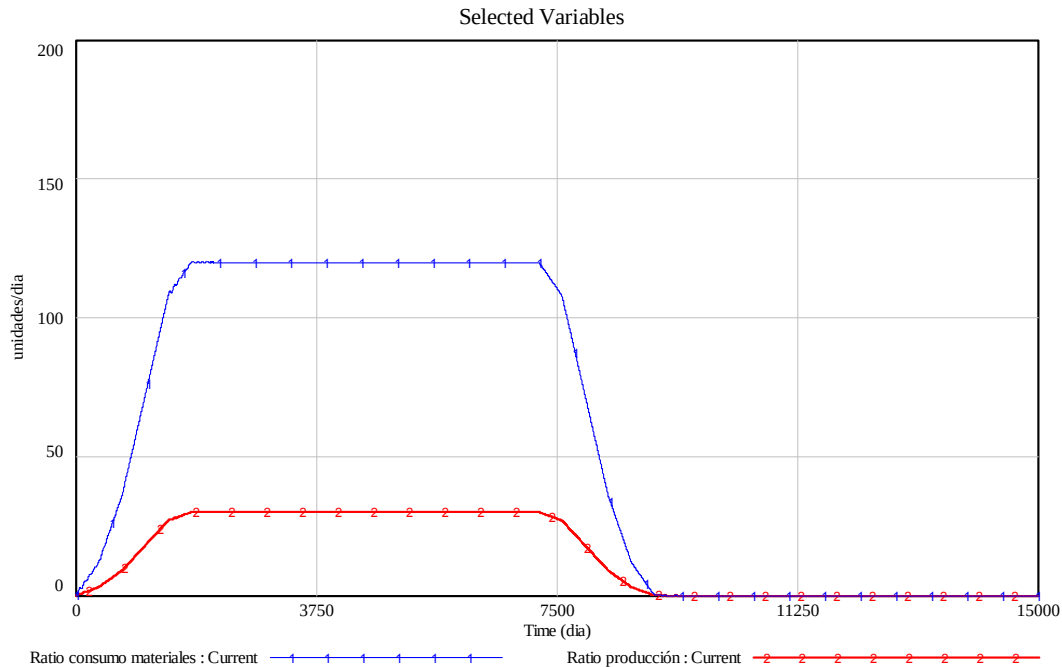
El tiempo de residencia se considerará uniformemente distribuido entre 3 y ocho años tal y como se apuntó en el apartado de justificación de parámetros.

Gráfica 12-3 Tiempo de residencia con Patrón de demanda 1. (Escenario 1)

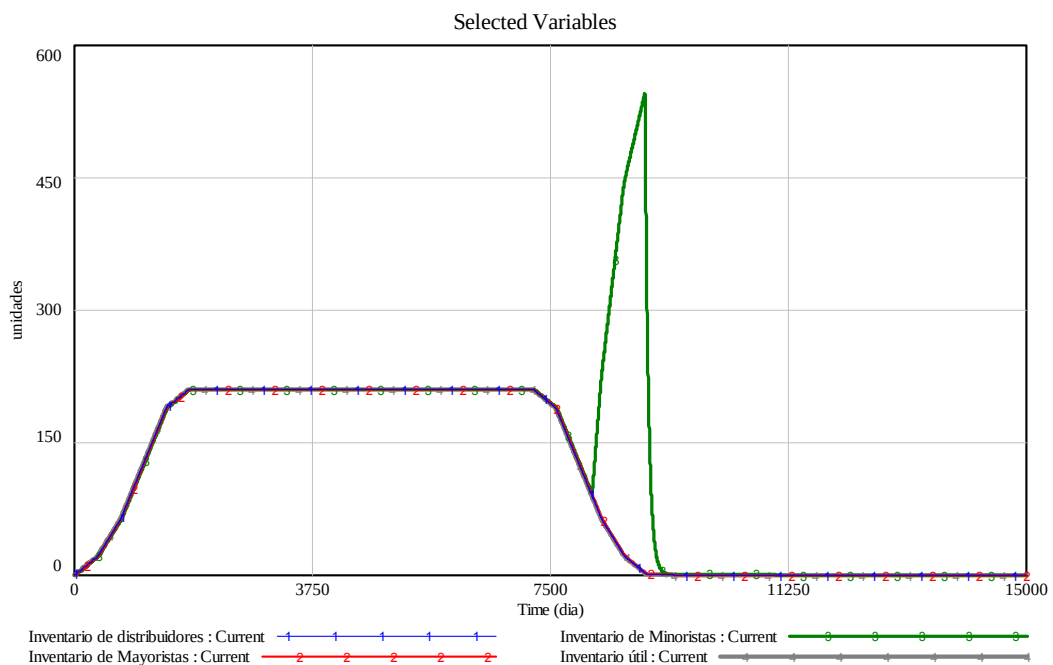


Tal y como se espera el **Ratio de consumo de materiales** para procesar es cuatro veces mayor al **Ratio de producción**.

Gráfica 12-4 Gráfica de Ratio de consumo de materiales y Ratio de producción con Patrón de demanda 1. (Escenario 1)



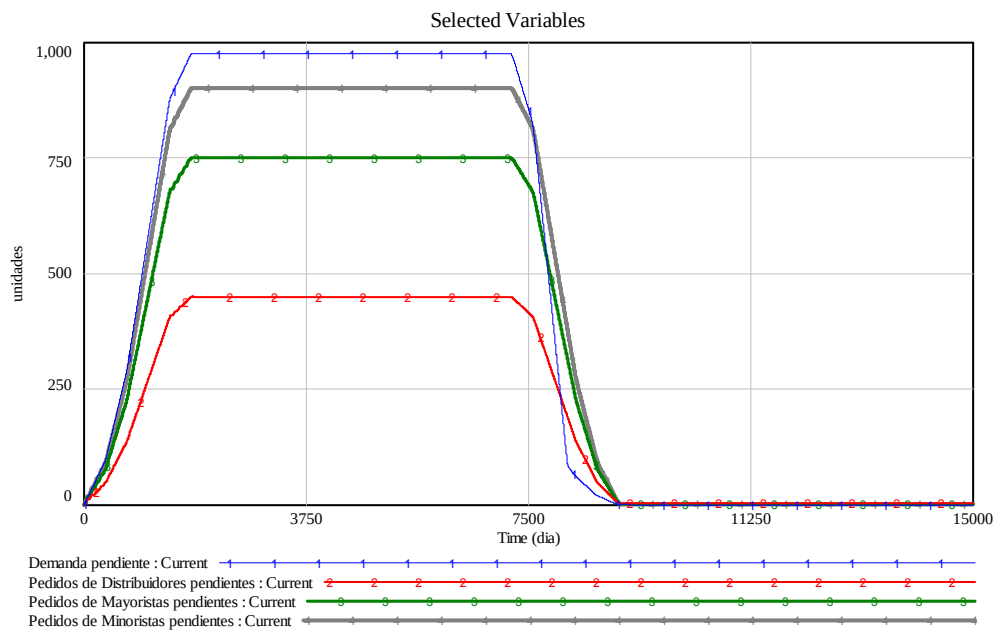
Gráfica 12-5 Gráfica de comparación de inventarios con Patrón de demanda 1. (Escenario1)



Podemos observar que el **Inventario de minoristas** crece al final de la **Demanda**. Esto es producido porque las **Ventas** caen y van llegando al **Inventario de minoristas**

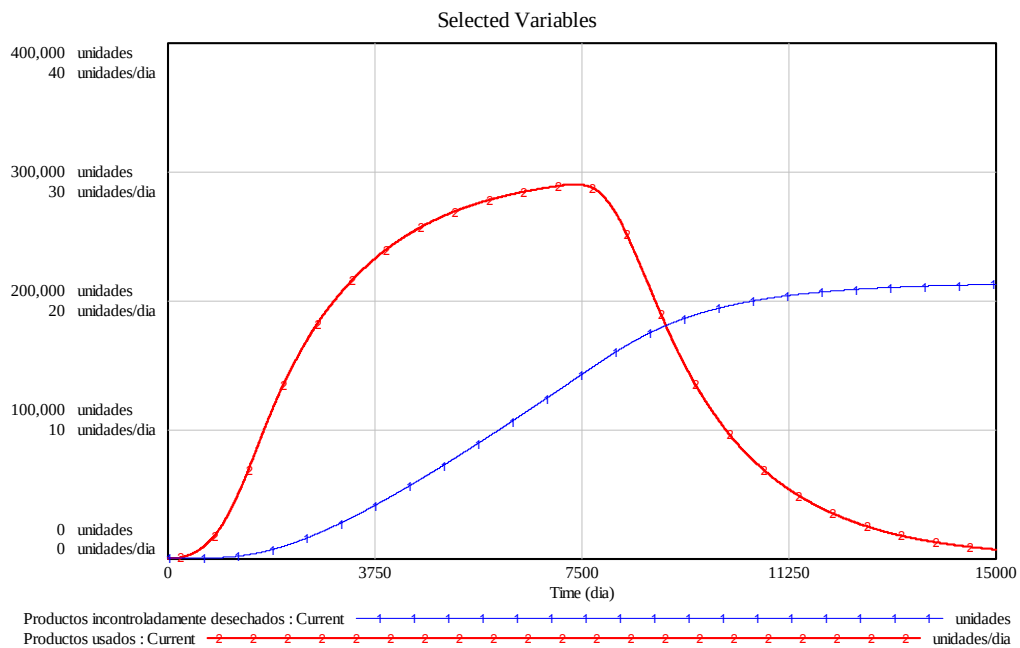


Gráfica 12-7 Pedidos pendientes frente a la Demanda con Patrón de demanda 1. (Escenario 1)



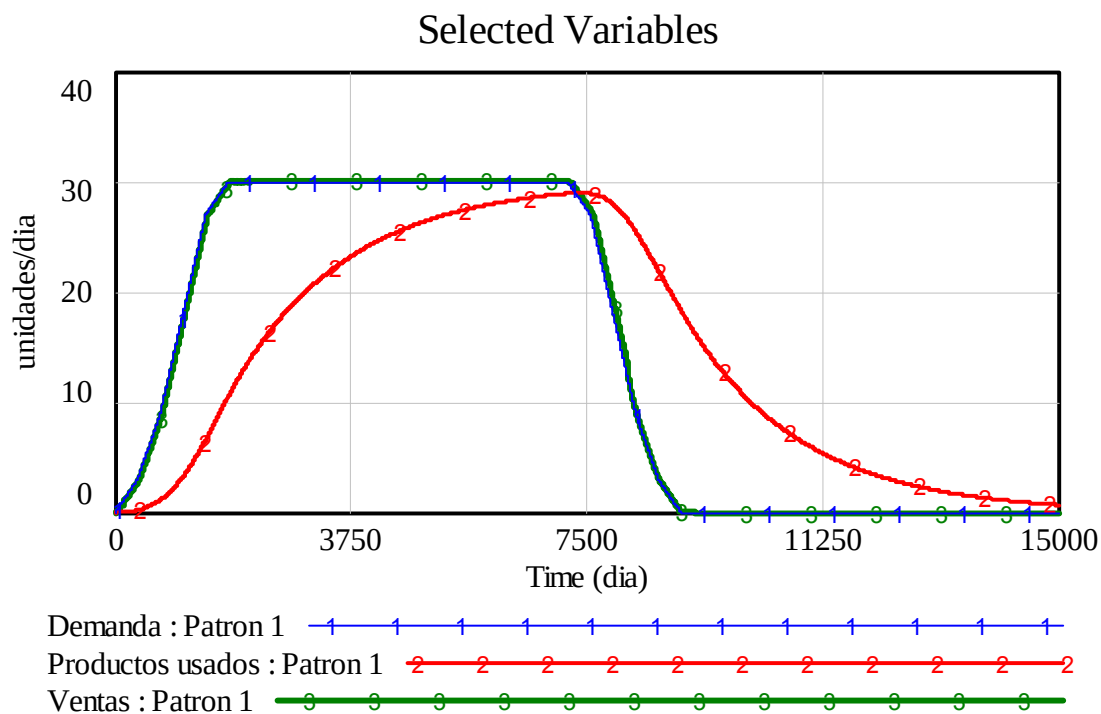
Comprobamos cómo a medida que los productos son usados se van desechando de forma incontrolada al no haber en este escenario 1 ningún sistema de recogida de los productos usados.

Gráfica 12-8 Productos usados frente a Productos incontroladamente desechados con Patrón de demanda 1. (Escenario 1)



Al tener un tiempo de residencia alto (3-8 años) puede verse cómo el modelo representa el desfase entre **Demanda** y **Ventas** frente a **Productos usados**.

Gráfica 12-9 Ventas,Demanda y Productos usados con Patrón de demanda 1.  
(Escenario 1)

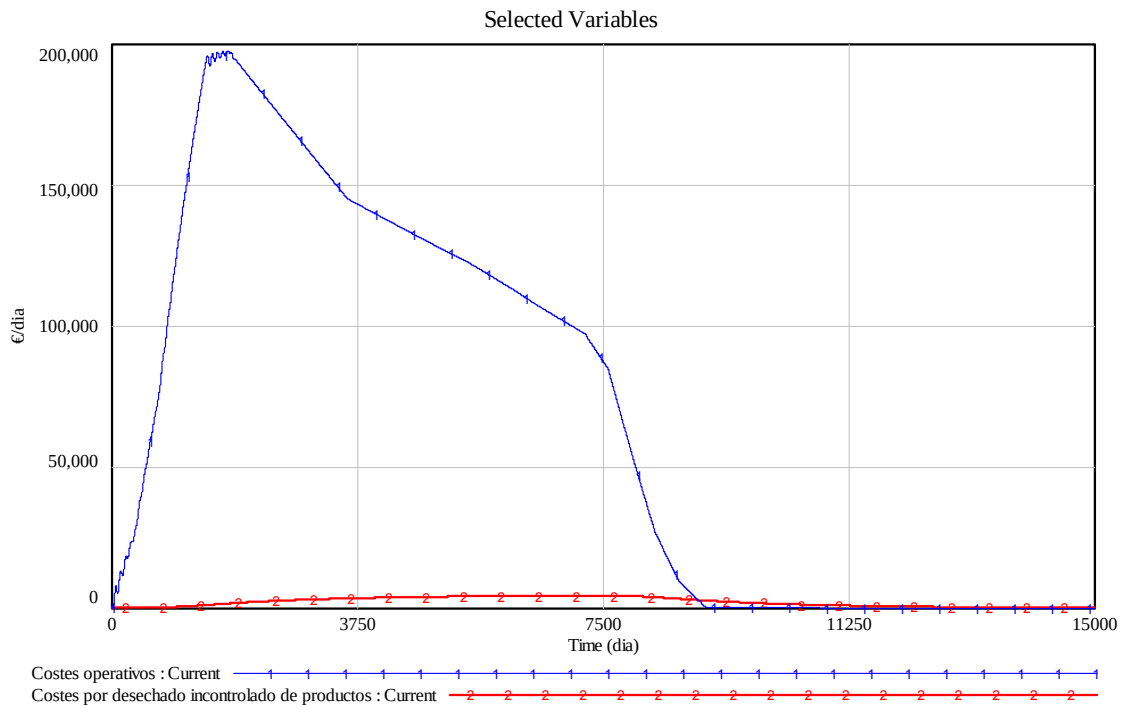


Los costes que se dan en este primer escenario son los operativos y los costes producidos por el desechado incontrolado fruto de las sanciones por no cumplir con la legislación vigente. Como no se ha realizado ninguna inversión ni en capacidad de recogida ni en capacidad de reprocesado no aparecen costes de inversión.

Es importante observar que a pesar de que los **Costes operativos** finalicen con la actividad los **Costes por desechado incontrolado** se mantienen durante más tiempo ya que el tiempo de residencia del producto es elevado (3-8 años).



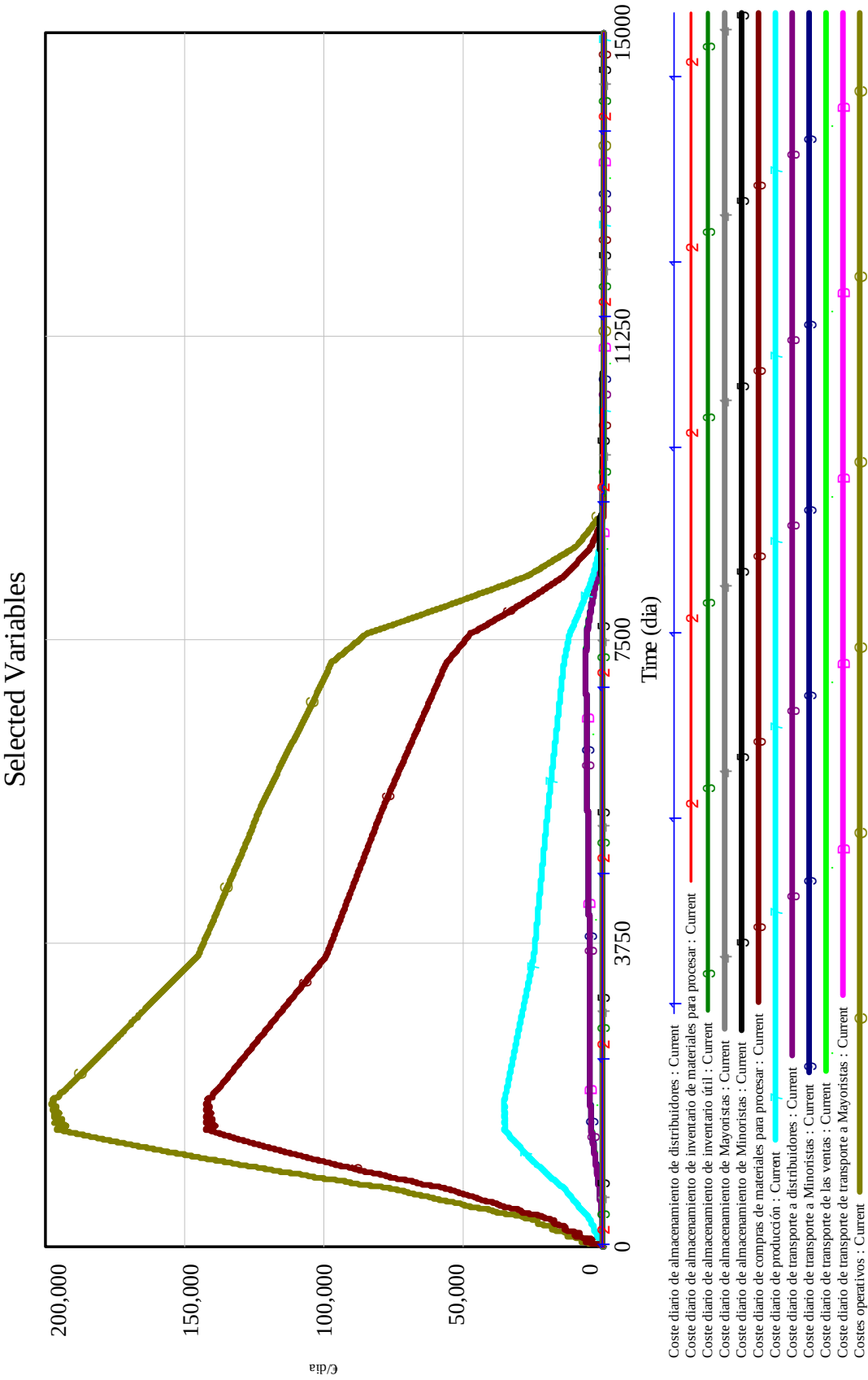
Gráfica 12-10 Costes operativos y Costes por desechado incontrolado de productos con Patrón de demanda 1. (Escenario 1)



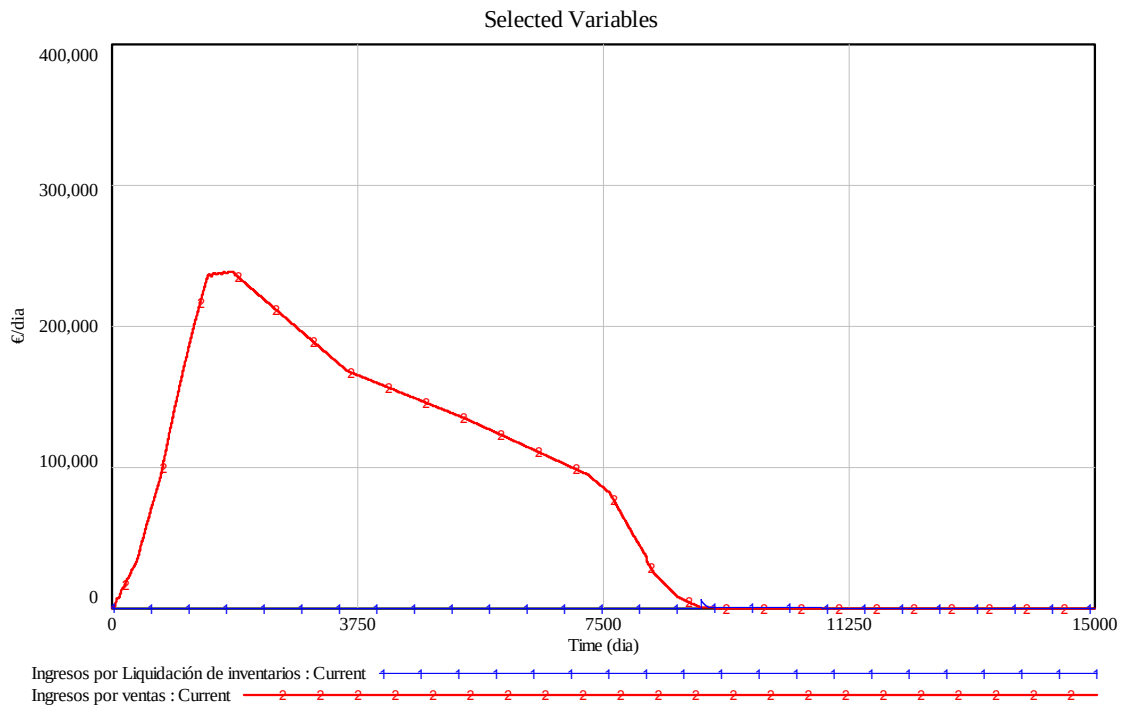
En el siguiente gráfico vemos el desglose de los **Costes operativos** para el producto considerado, destacan especialmente los **Costes de compra de materiales** que tal y como se señaló se estiman en cerca de un 80% de los costes totales.

Los siguientes costes en importancia son los **Costes de producción**, siendo los costes de transporte y los costes derivados de los almacenamientos bastante inferiores.

Gráfica 12-11 Desglose de los Costes operativos con Patrón de demanda 1.  
(Escenario 1)



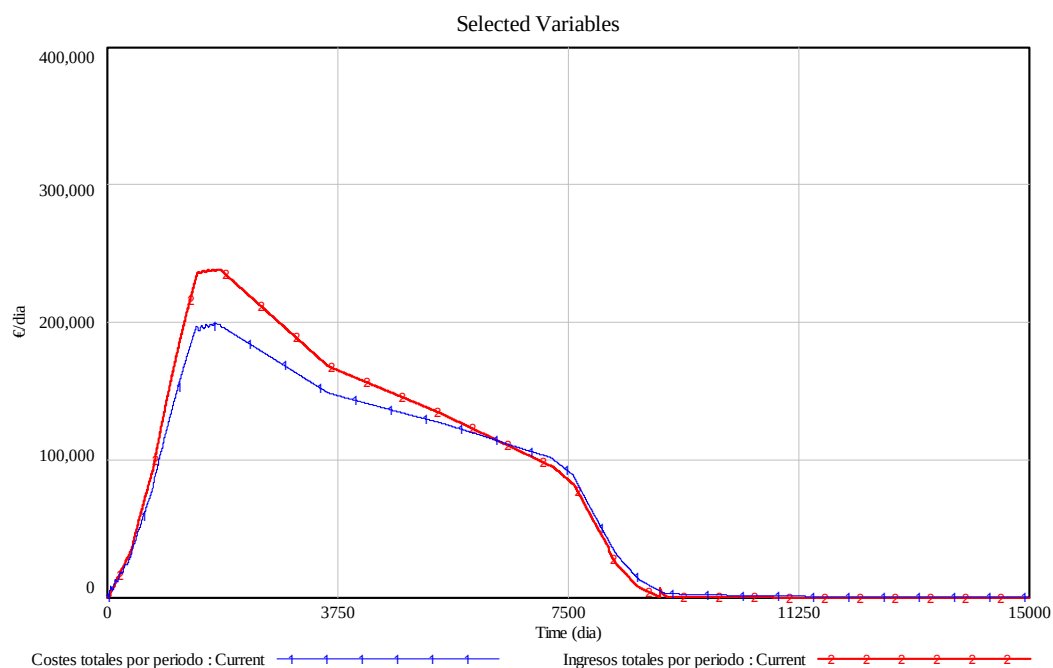
Gráfica 12-12 Ingresos por ventas e ingresos por liquidación de inventarios con Patrón de demanda 1. (Escenario 1)



Los ingresos que se producirán en este escenario serán los **Ingresos por ventas** y los **Ingresos por liquidación de inventarios** al final del ciclo de vida del producto. Puede verse cómo el efecto de la liquidación es muy pequeño comparado con las ventas. No hay en este escenario ingresos por liquidación de activos ni por ventas en mercados secundarios.

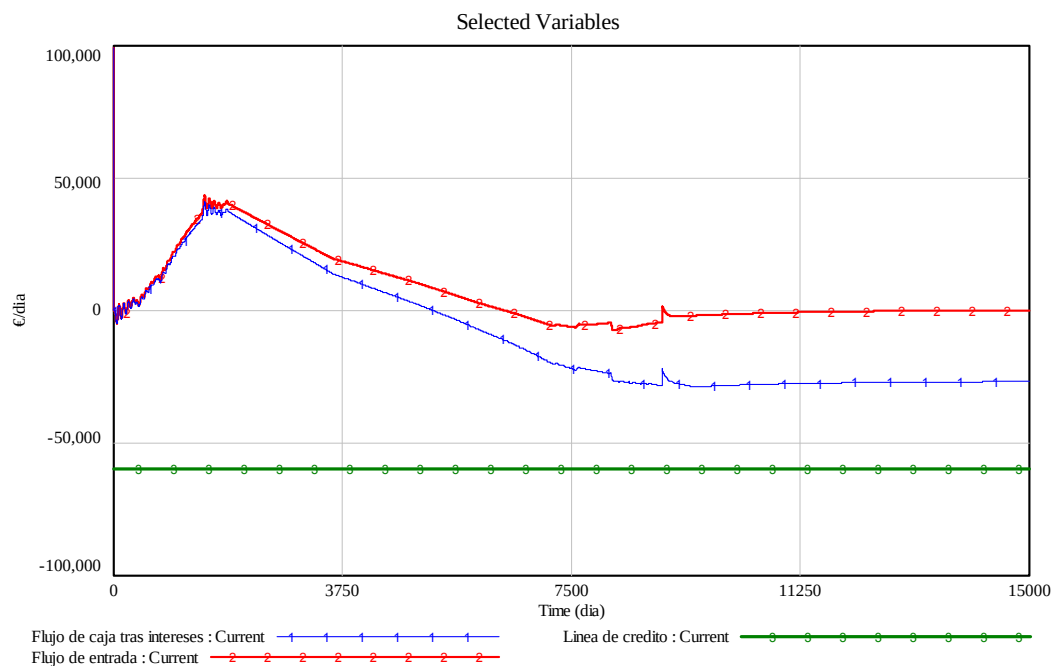
Comparando los **Costes totales por periodo** con los **Ingresos totales por periodo** vemos un momento a partir del cual los ingresos caen por debajo de los costes. Esto es debido a que a lo largo del ciclo de vida se prevé una bajada de los precios y en cambio se ha considerado que los costes de transporte crecen según los patrones anteriormente expuestos. Este hecho es clave en la interpretación del comportamiento del modelo.

Gráfica 12-13 Comparación de Costes totales e Ingresos totales con Patrón de demanda 1. (Escenario 1)



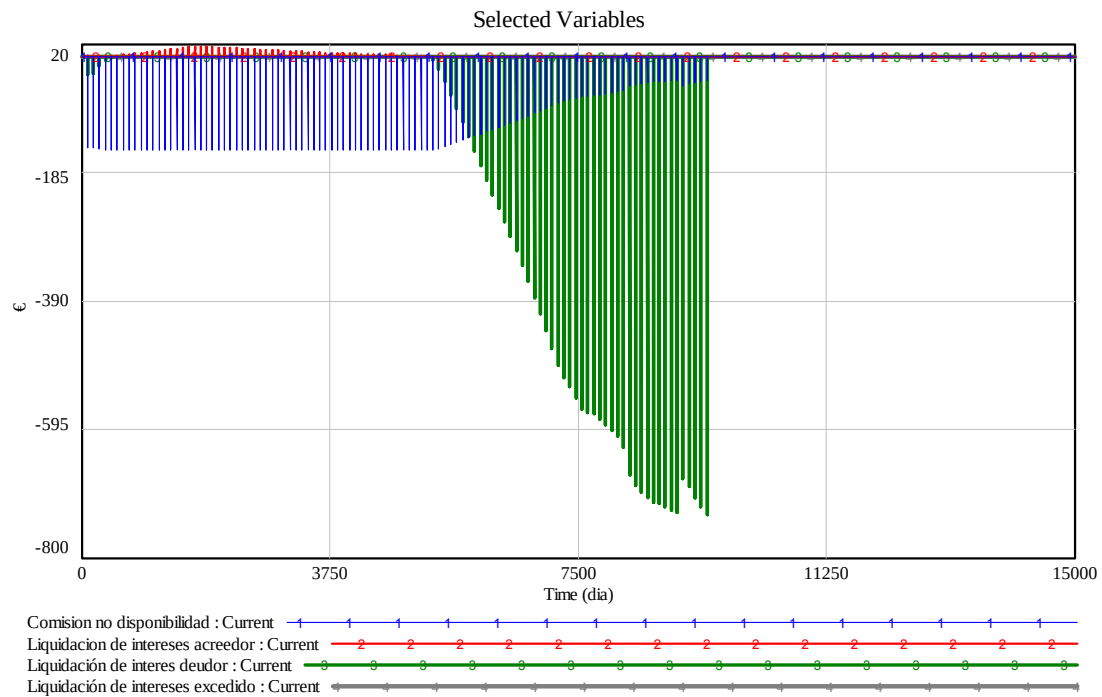
El flujo neto de caja se ha obtenido como diferencia entre ingresos y gastos. Con este **Flujo de entrada** se obtiene el **Flujo de caja tras intereses** que resulta de aplicar las condiciones de la línea de crédito. Se ha considerado para todos los escenarios un **Límite de crédito** de 60.000 €.

Gráfica 12-14 Comparación de los flujos de caja antes y después de aplicar los intereses de la línea de crédito con Patrón de demanda 1. (Escenario 1)

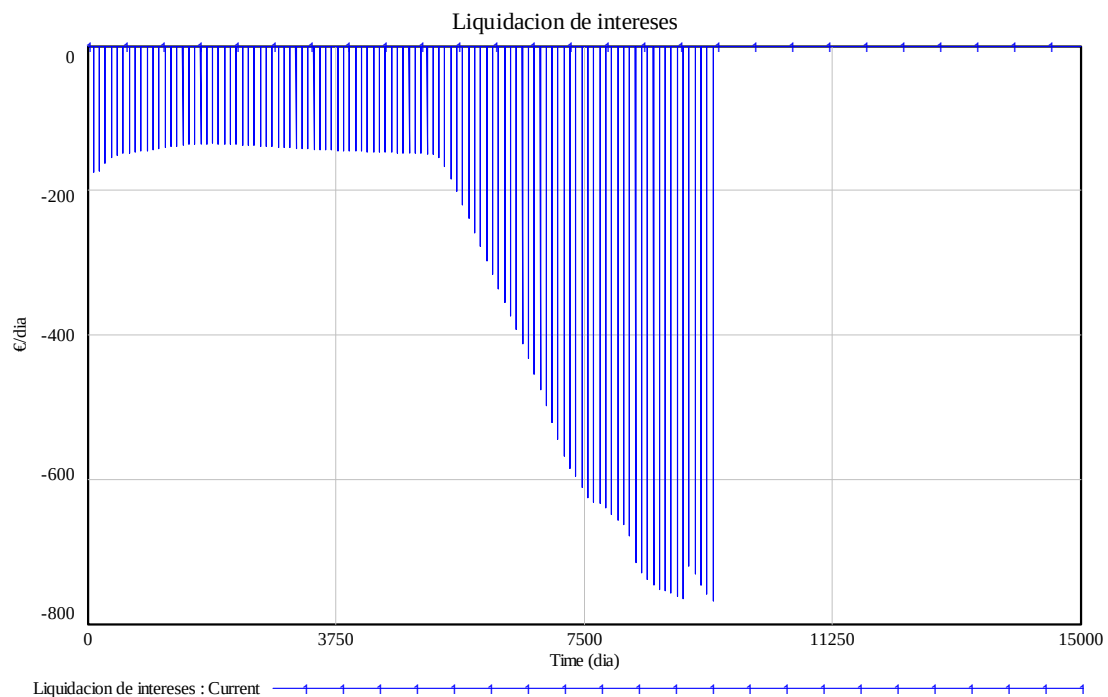


Los intereses y comisiones de la línea de crédito aparecen en la siguiente gráfica desglosados según su tipo. Al no producirse excedidos no se hay intereses de excedido.

Gráfica 12-15 Comparación de los intereses y comisiones de la línea de crédito con Patrón de demanda 1. (Escenario 1).

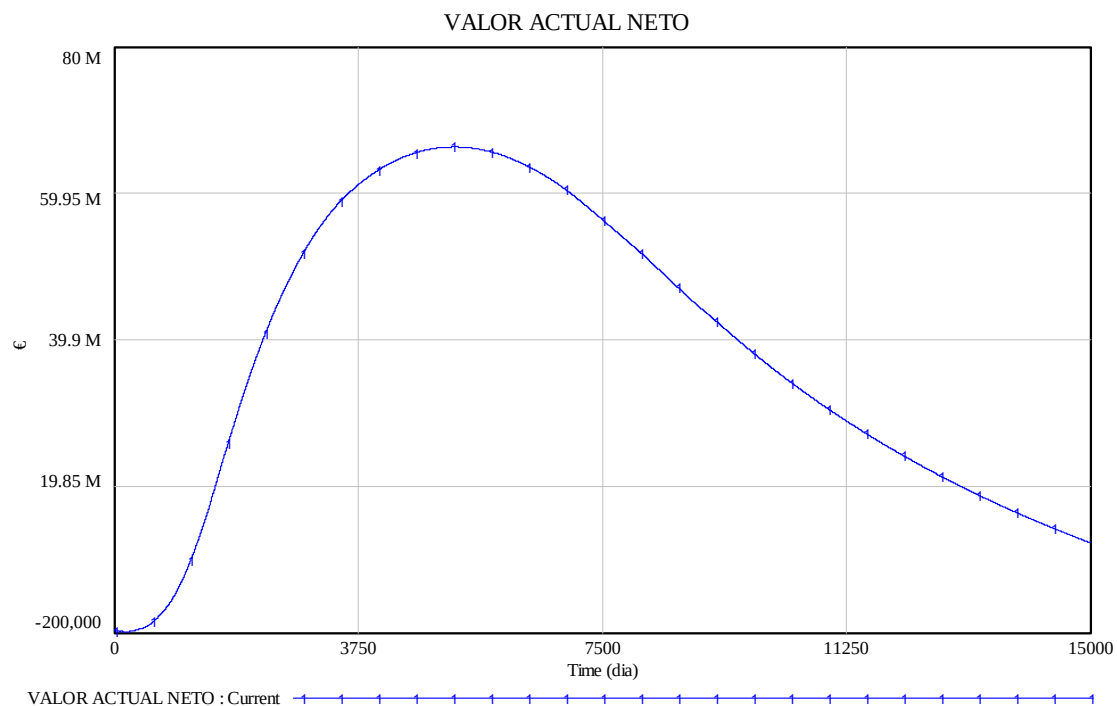


Gráfica 12-16 Liquidación de intereses totales de la línea de crédito con Patrón de demanda 1. (Escenario 1)



El Valor actual neto del conjunto de la red es el siguiente. Se adoptará como valor del conjunto de la red el VAN que se corresponde con el tiempo de liquidación de inventarios al considerar que éste punto marca el final del negocio.

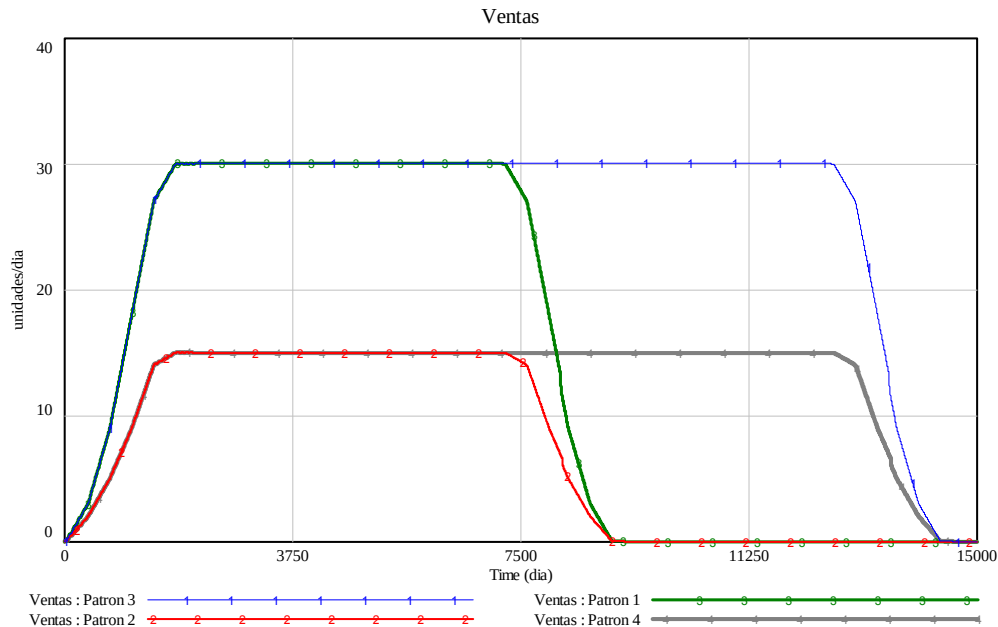
Gráfica 12-17 Valor actual neto con Patrón de demanda 1. (Escenario 1).



**12.1.2. Comportamiento con los distintos patrones de demanda. (Escenario 1)**

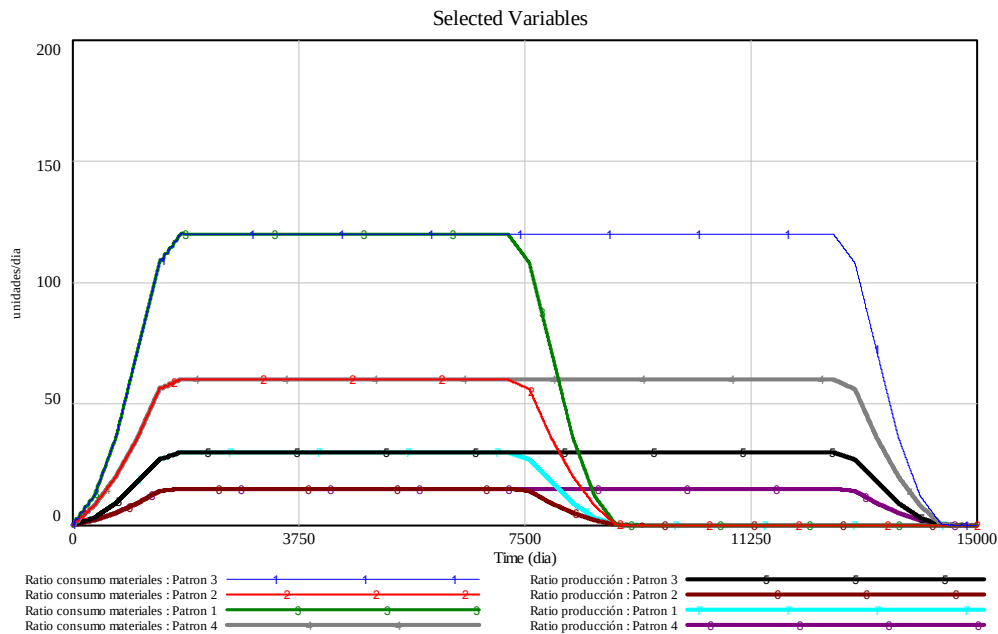
Las ventas según cada patrón de demanda son las siguientes:

Gráfica 12-18 Ventas para los distintos patrones de demanda. (Escenario 1).



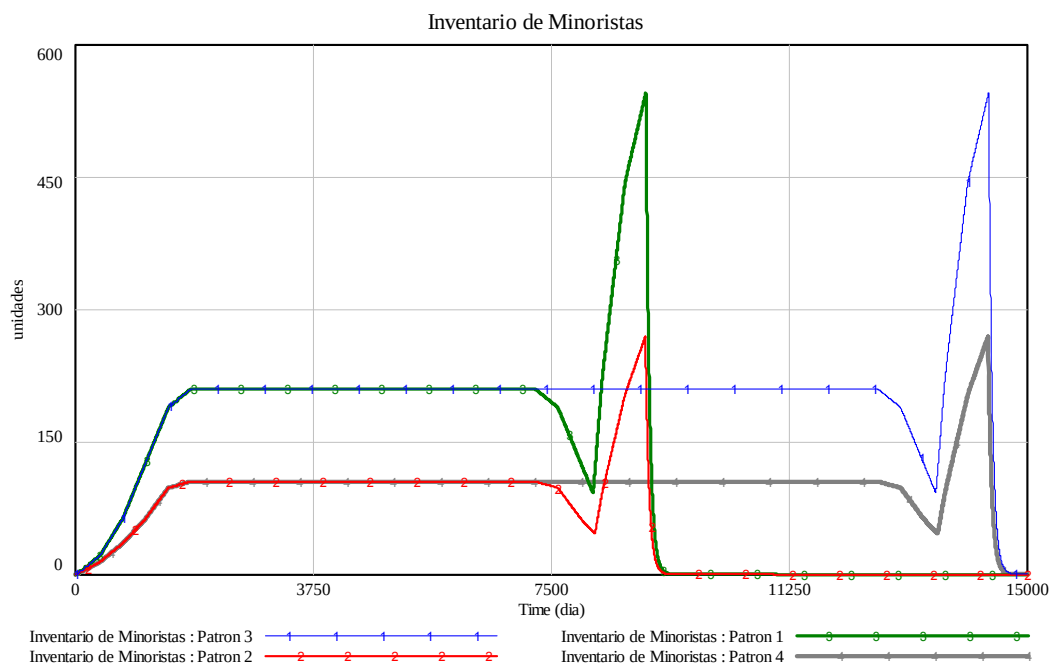
Los ratios de producción y el consumo de materiales para producir en función del patrón de demanda son los siguientes.

Gráfica 12-19 Ratios de consumo de materiales y Ratios de producción para los distintos patrones de demanda. (Escenario 1).



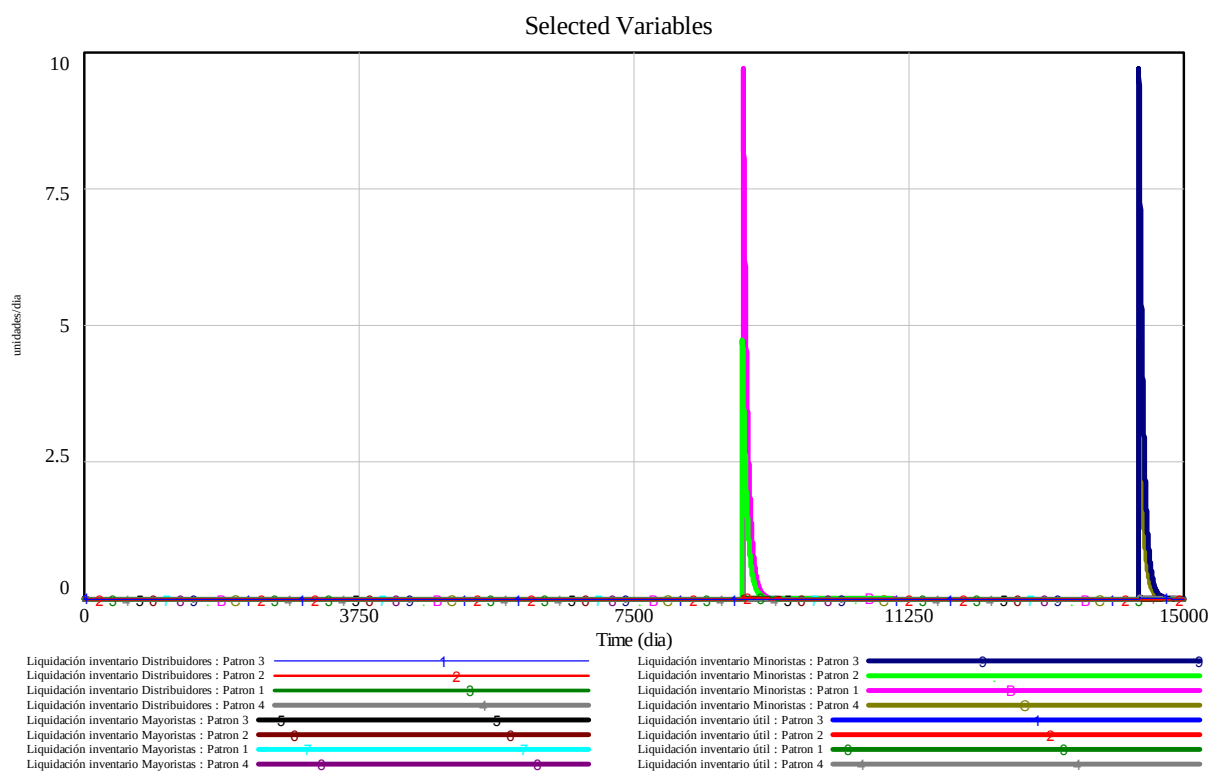
Los Inventarios de minoristas para los diferentes patrones son los siguientes.

Gráfica 12-20 Gráfica de comparación de Inventario de Minoristas para los distintos patrones de demanda. (Escenario 1).



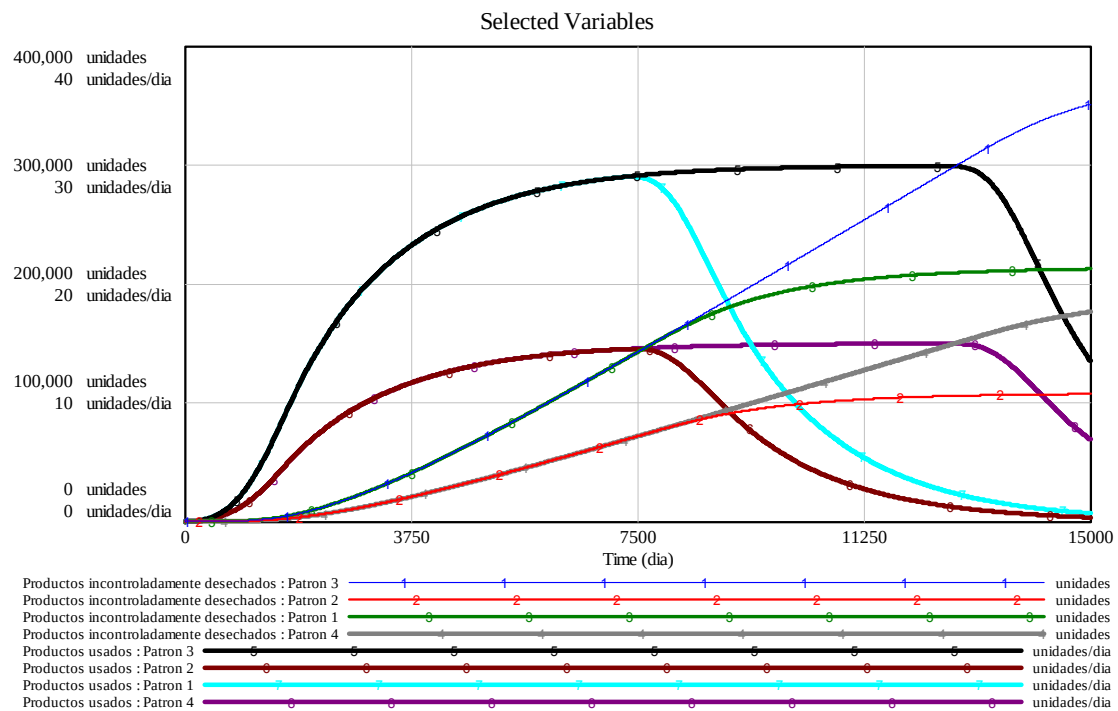
La liquidación de inventarios según los patrones de demanda son las siguientes.

Gráfica 12-21 Liquidación de inventarios para los distintos patrones de demanda. (Escenario 1).



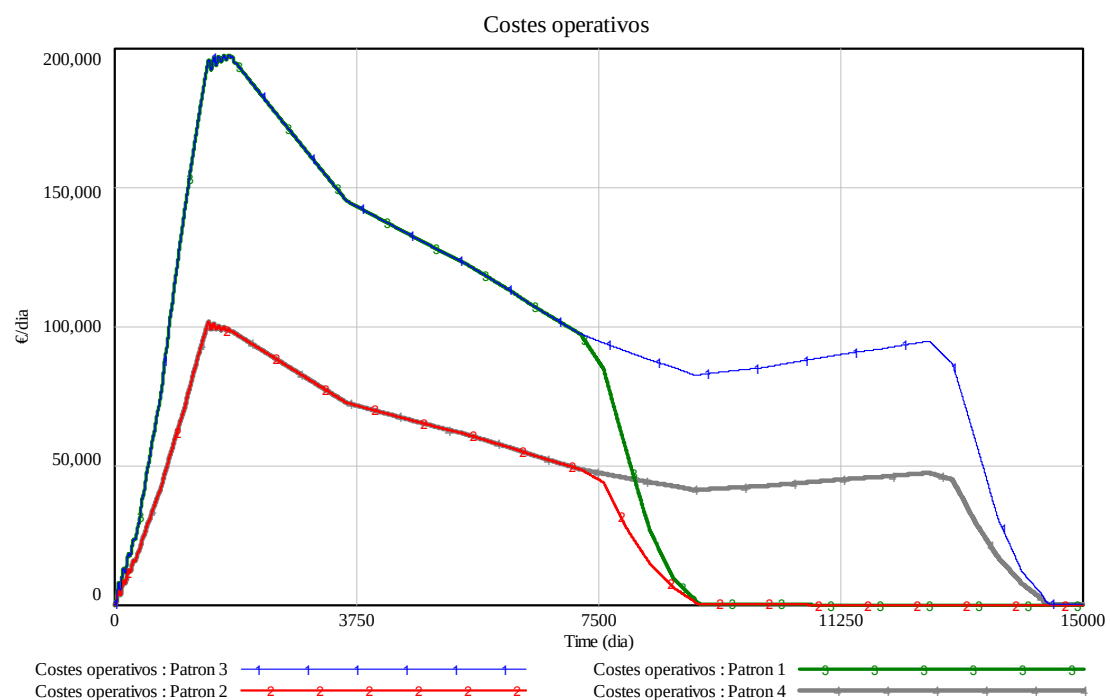


Gráfica 12-22 Productos usados y Productos incontroladamente desechados.  
(Escenario 1).

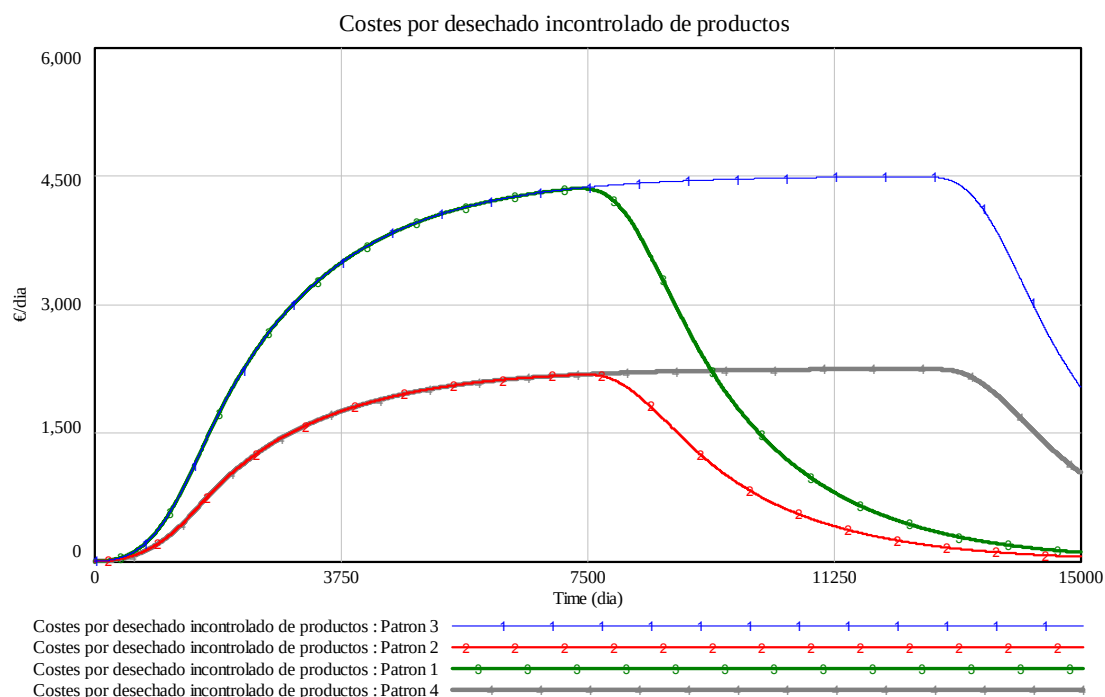


La evolución de los Productos usados y los Productos incontroladamente desechados.

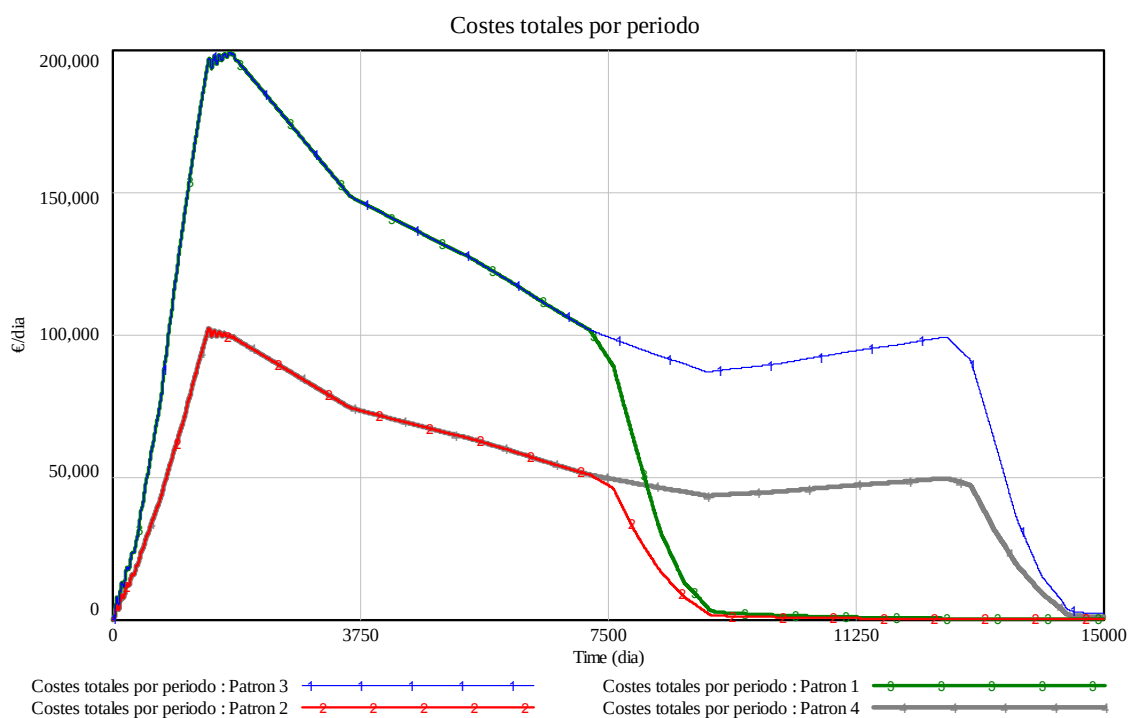
Gráfica 12-23 Costes operativos para los distintos patrones de demanda.(Escenario 1).



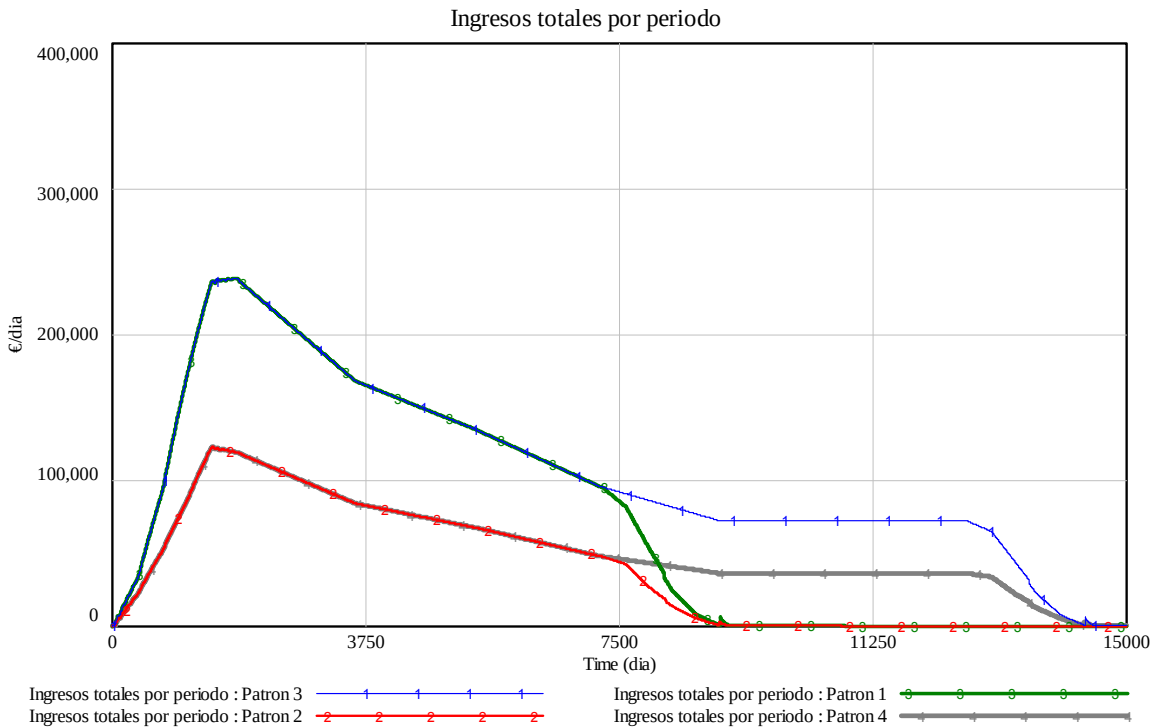
Gráfica 12-24 Costes por desechado incontrolado para los distintos patrones de demanda. (Escenario 1).



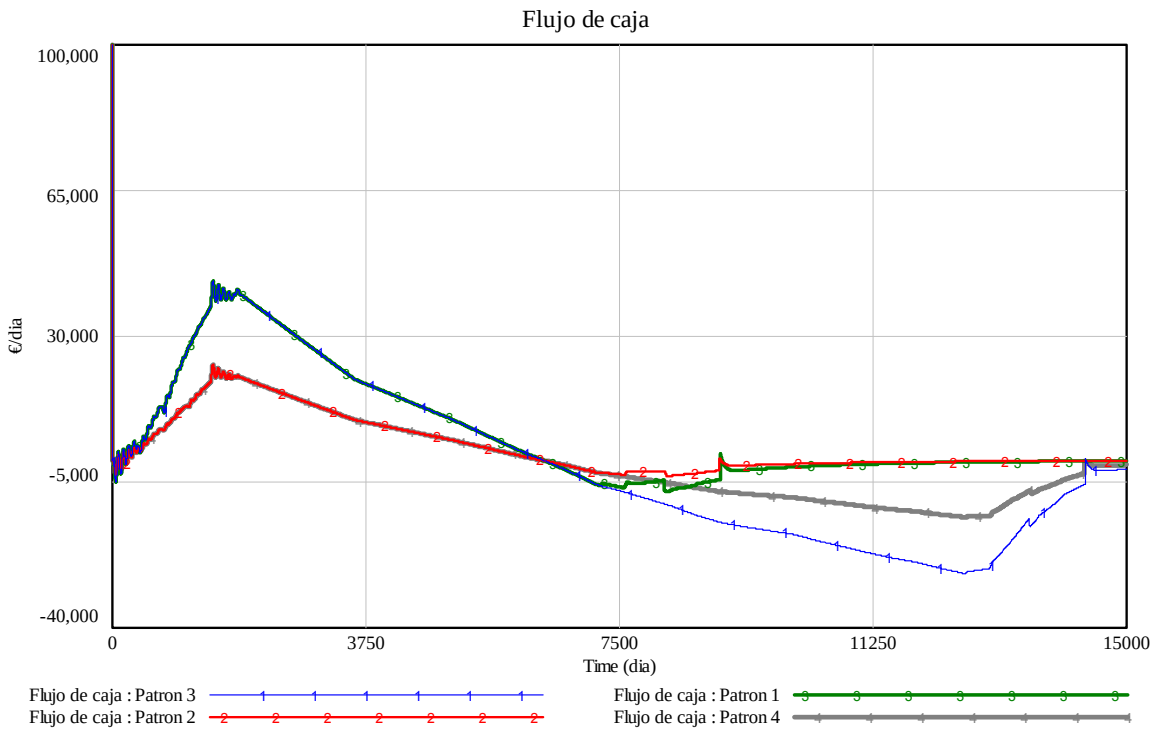
Gráfica 12-25 Costes totales por período para los distintos patrones de demanda. (Escenario 1).



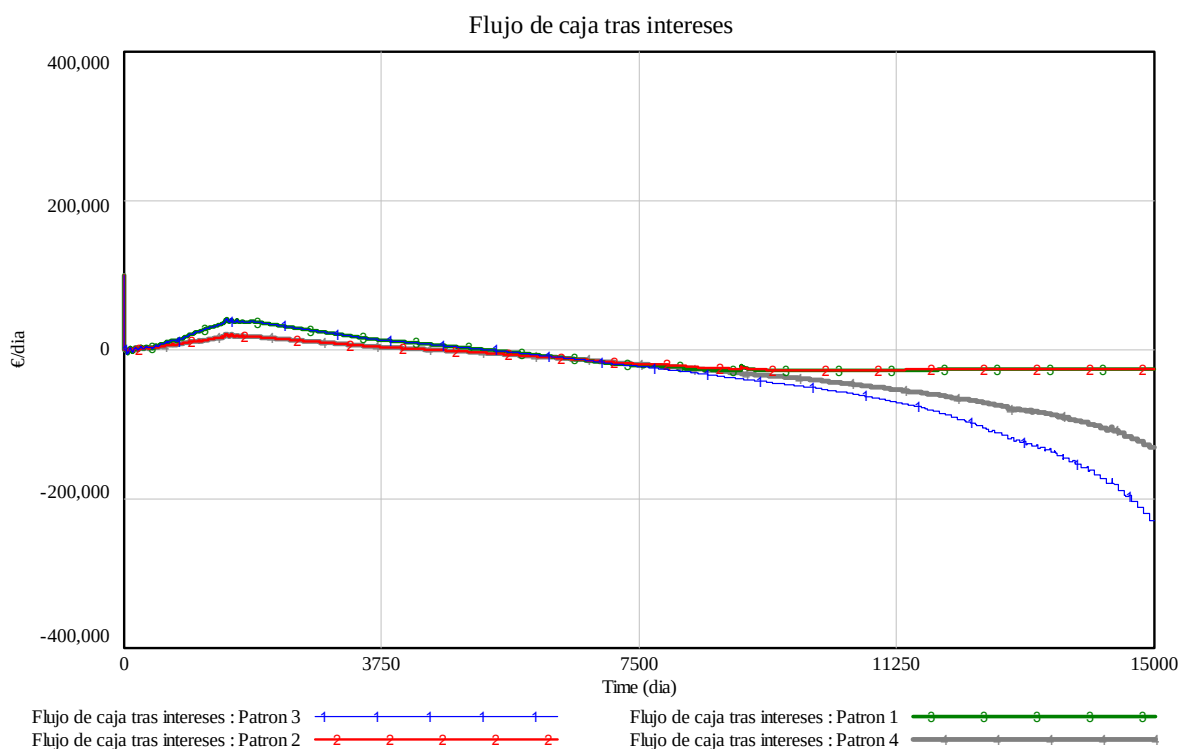
Gráfica 12-26 Ingresos totales por período para los distintos patrones de demanda. (Escenario 1).



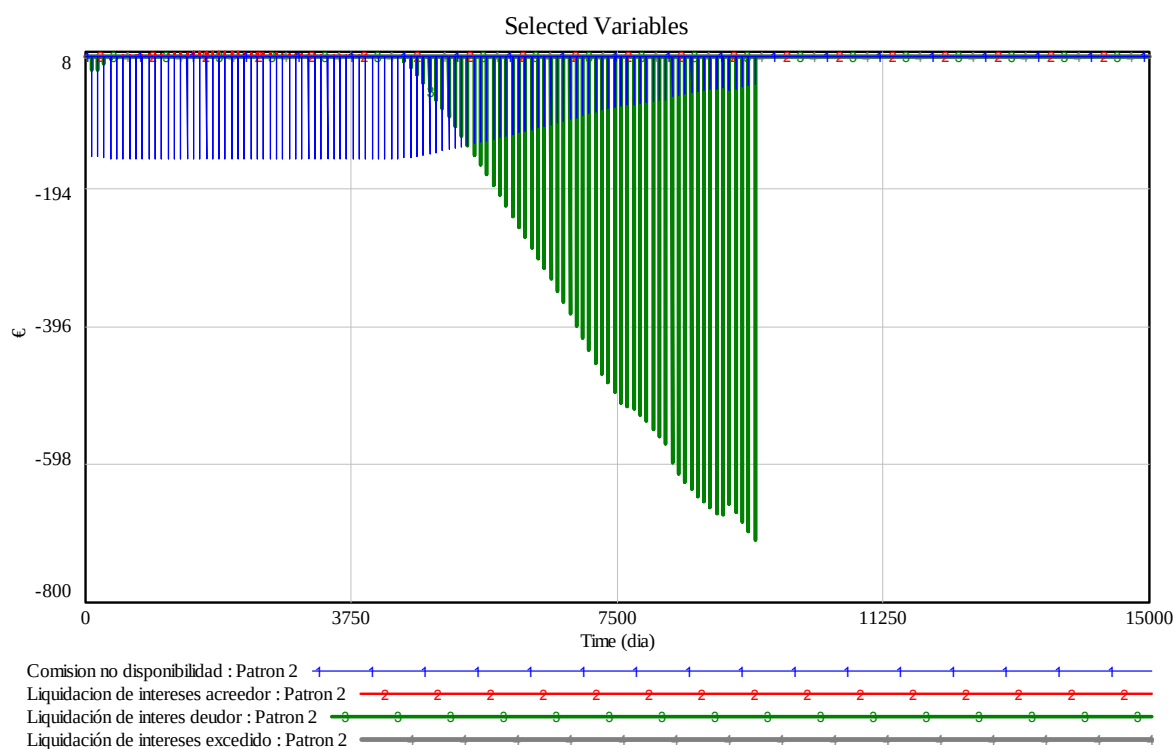
Gráfica 12-27 Flujos de caja para los distintos patrones de demanda. (Escenario 1).



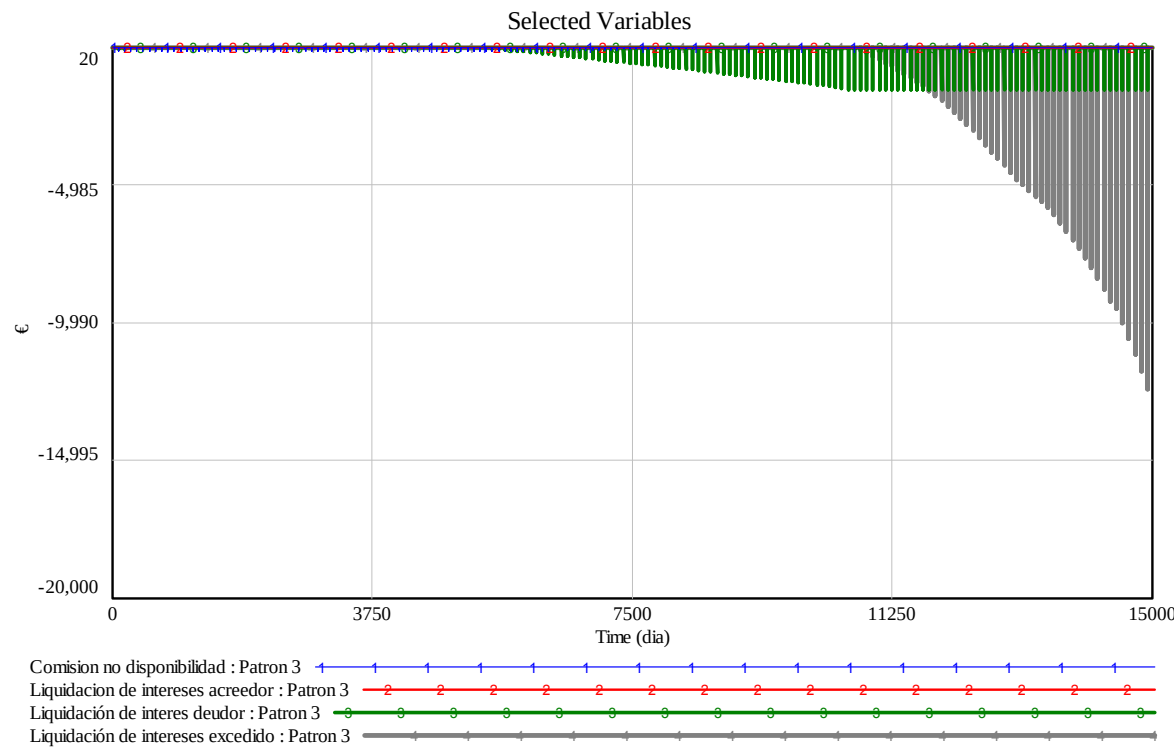
Gráfica 12-28 Flujos de caja tras intereses de línea de crédito para los distintos patrones de demanda. (Escenario 1).



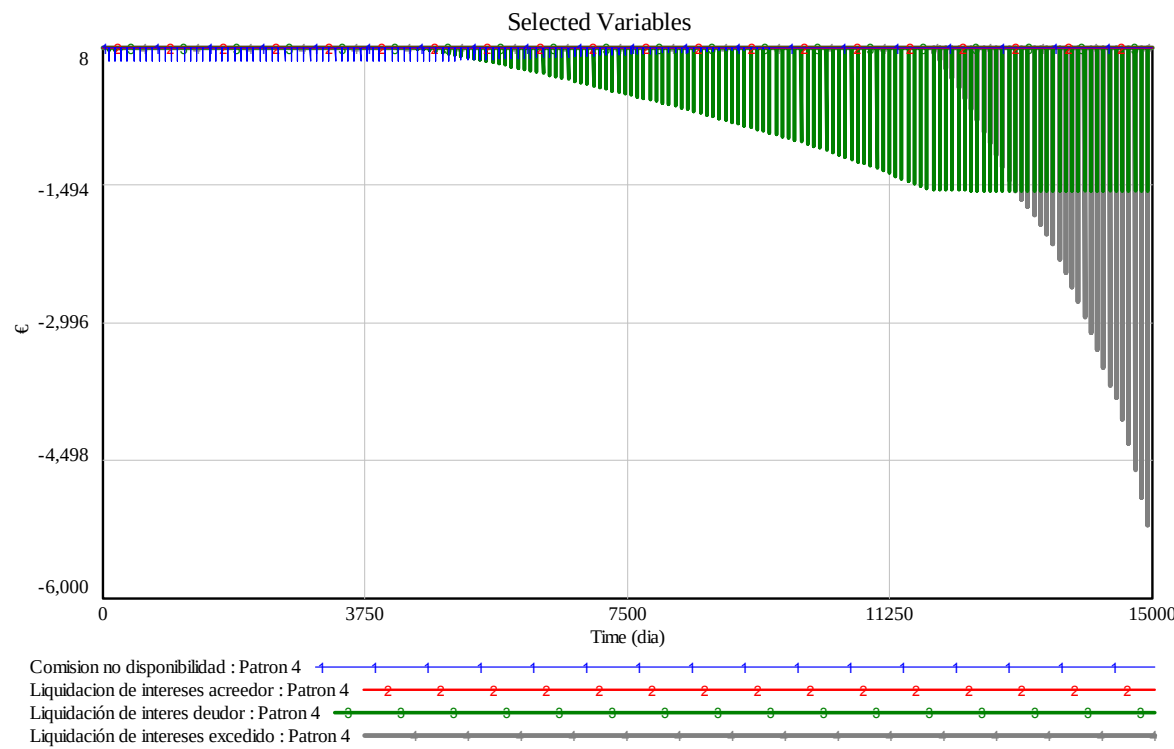
Gráfica 12-29 Intereses y comisiones de la línea de crédito con Patrón de demanda 2. (Escenario 1).



Gráfica 12-30 Intereses y comisiones de la línea de crédito con Patrón de demanda 3.  
(Escenario 1).



Gráfica 12-31 Intereses y comisiones de la línea de crédito con Patrón de demanda 4.  
(Escenario 1).



Gráfica 12-32 VAN para los distintos patrones de demanda. (Escenario 1).

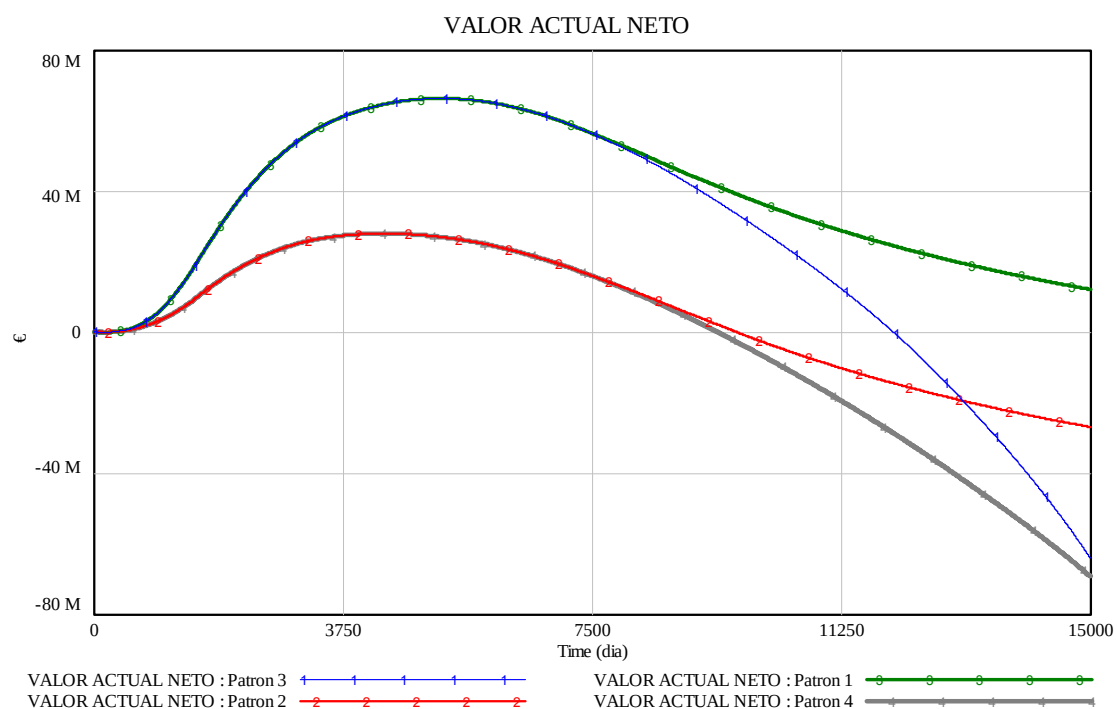


Tabla 12-1 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 1

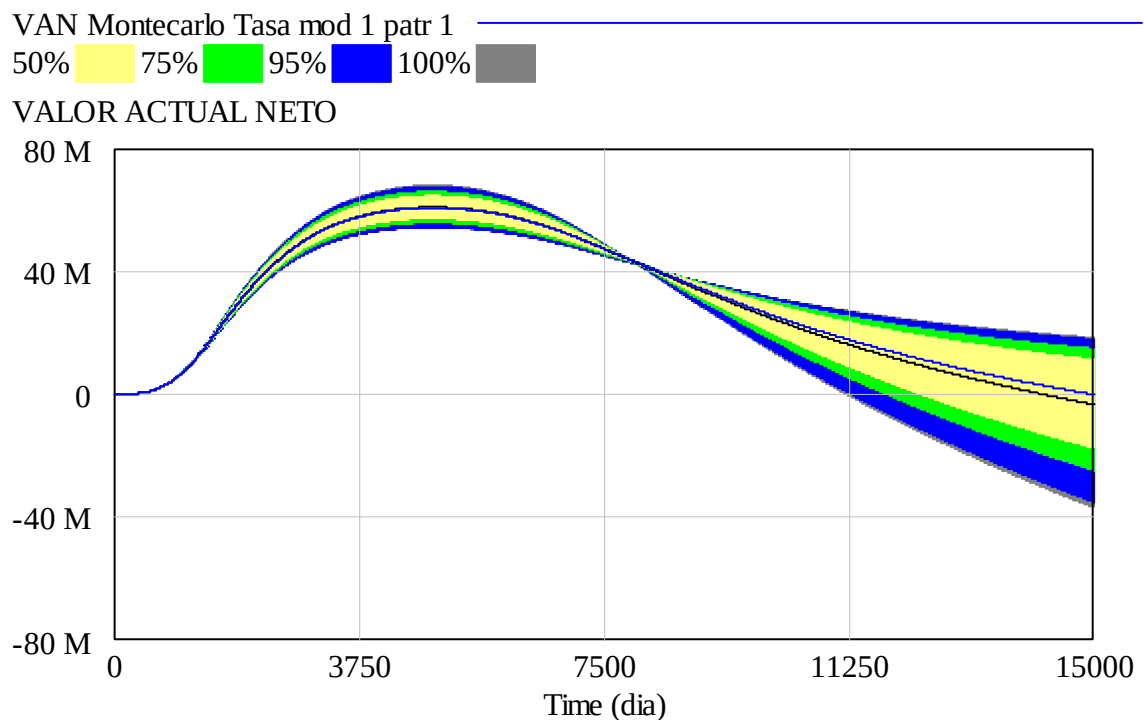
|                                  | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 1 |               |               |               |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                  | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2  | VAN patrón 3  | VAN patrón 4  |
| <b>Valor a fecha liquidación</b> | 44.320.000 €                                                             | 5.077.000 €   | -48.250.000 € | -59.840.000 € |
| <b>Valor a fin de simulación</b> | 12.110.000 €                                                             | -26.900.000 € | -64.160.000 € | -69.300.000 € |

## 12.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL ESCENARIO 1

### 12.2.1. Escenario 1. Variación de la Tasa de descuento del VAN entre un 3% y un 7%

Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación de la **Tasa de descuento anual** entre un 3% y un 7%.

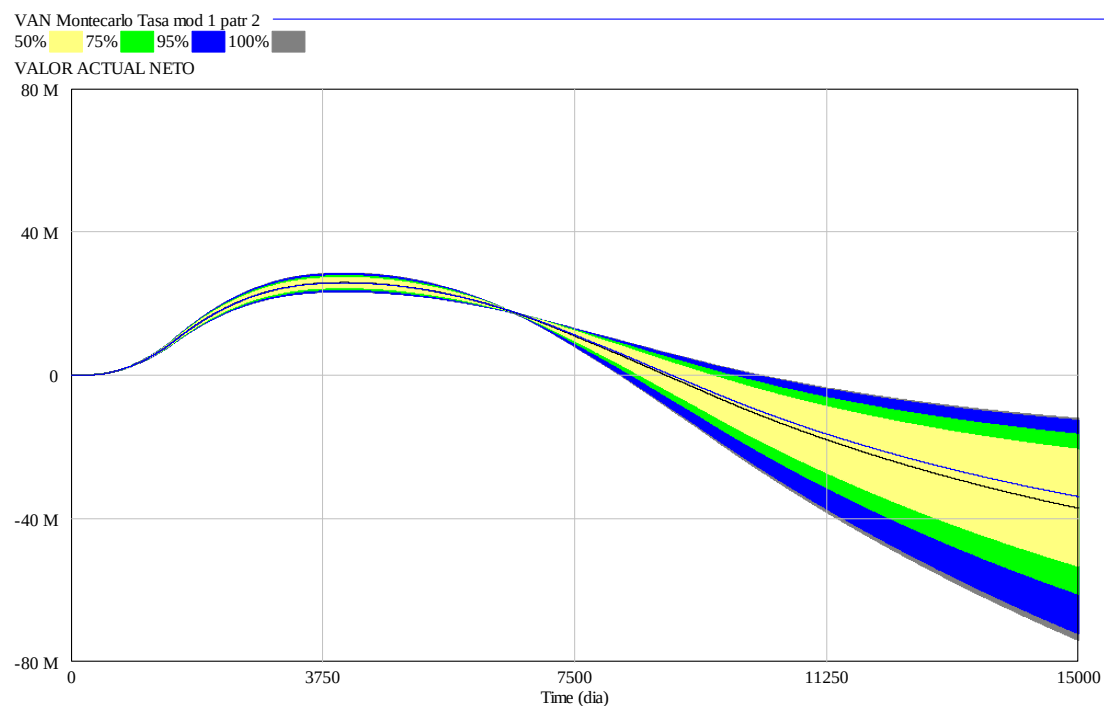
Gráfica 12-33. Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones . (Escenario 1).



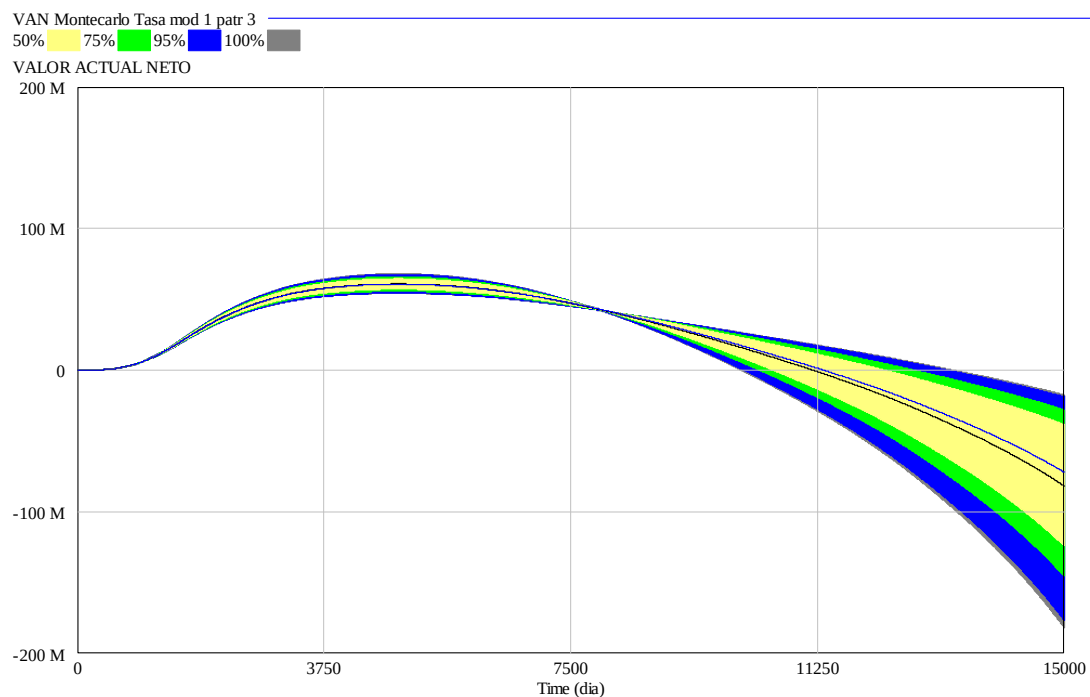
En las gráficas del análisis de sensibilidad se pueden distinguir cuatro colores:

- El amarillo indica la región en la que se acumulan el 50% de las simulaciones.
- El verde indica la región en la que se acumulan el 75% de las simulaciones.
- El azul indica la región en la que se acumulan el 95% de las simulaciones.
- El gris indica la región en la que se acumulan el 100% de las simulaciones.

Gráfica 12-34 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones . (Escenario 1).



Gráfica 12-35 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 1).





Gráfica 12-36. Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones . (Escenario 1).

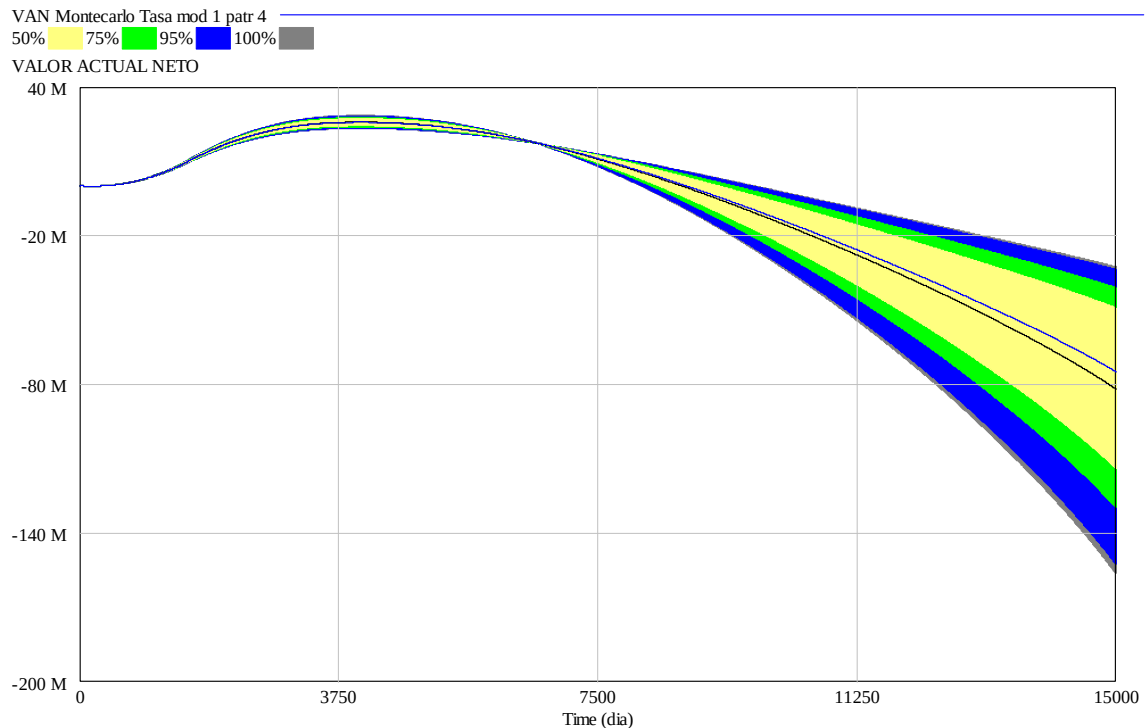


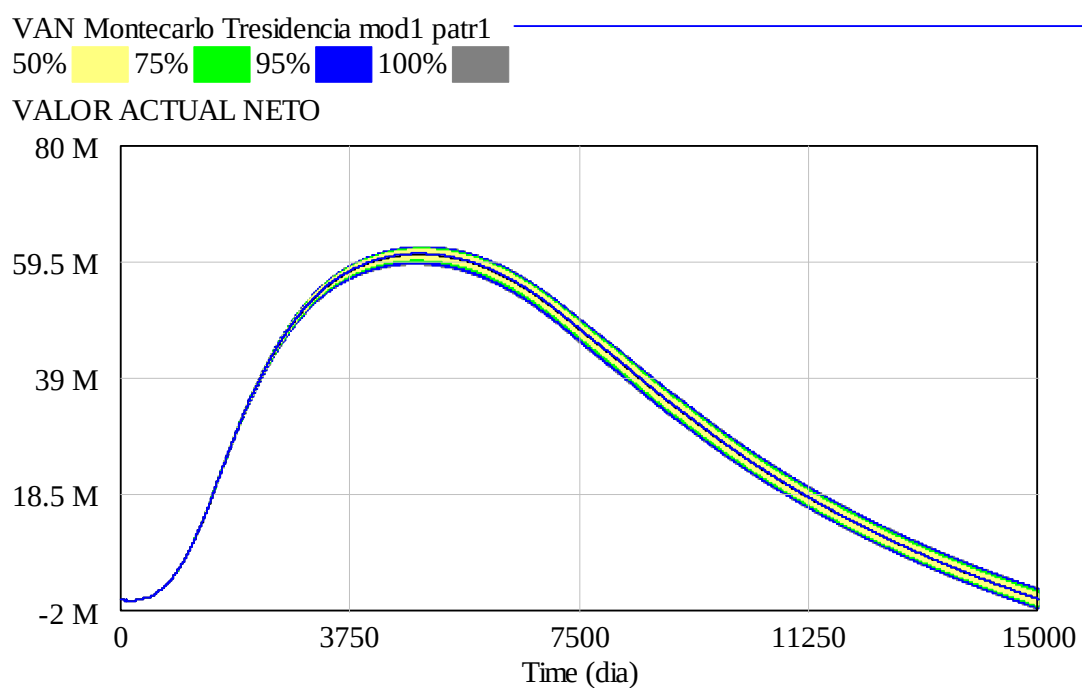
Tabla 12-2 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 1.  
Sensibilidad de Tasa de descuento anual entre el 3% y el 7%

|                                | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 1 |               |                |                |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|----------------|
|                                | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2  | VAN patrón 3   | VAN patrón 4   |
| Valor a fecha liquidación (3%) | 28.700.000 €                                                             | -10.450.000 € | -147.740.000 € | -135.690.000 € |
| Valor a fecha liquidación (7%) | 36.990.000 €                                                             | 5.692.000 €   | -10.160.000 €  | -28.030.000 €  |
| Valor a fin de simulación (3%) | -37.040.000 €                                                            | -74.510.000 € | -182.380.000 € | -157.000.000 € |
| Valor a fin de simulación (7%) | 18.540.000 €                                                             | -12.000.000 € | -16.920.000 €  | -32.190.000 €  |

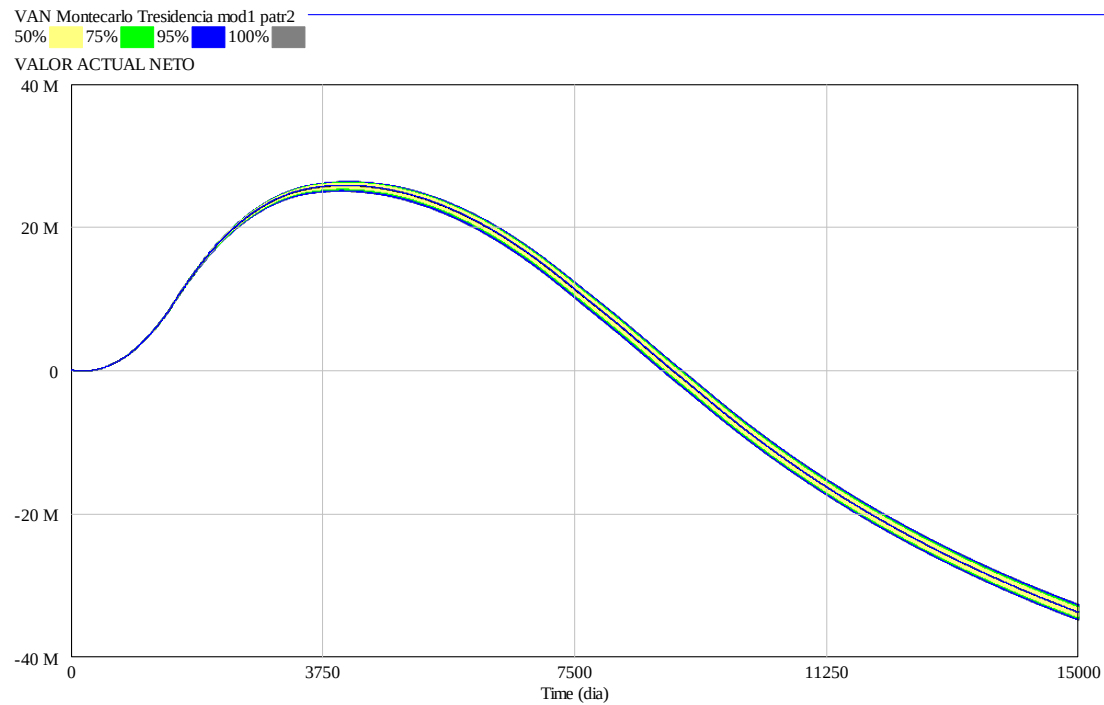
### 12.2.2. Escenario 1. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años.

Se realiza a continuación el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación del **tiempo de residencia** entre 3 y 8 años.

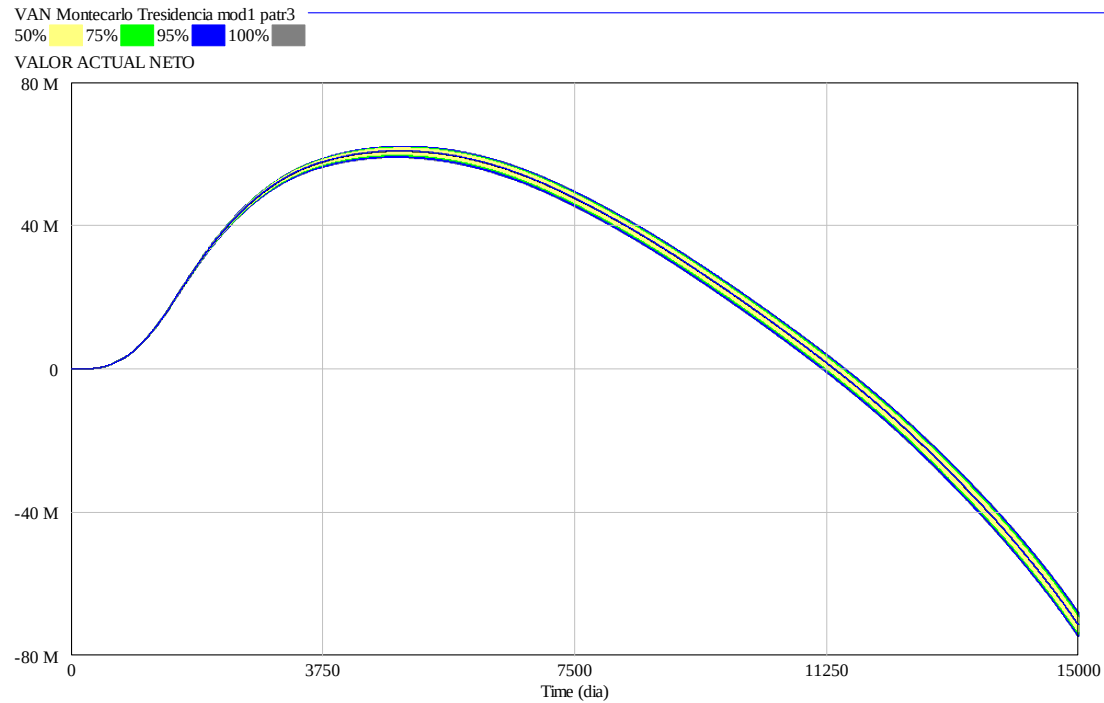
Gráfica 12-37 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre el 3 y el 8 años con 200 simulaciones . (Escenario 1).



Gráfica 12-38 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre el 3 y el 8 años con 200 simulaciones . (Escenario 1).



Gráfica 12-39 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre el 3 y el 8 años con 200 simulaciones . (Escenario 1).



Gráfica 12-40 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre el 3 y el 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 1).

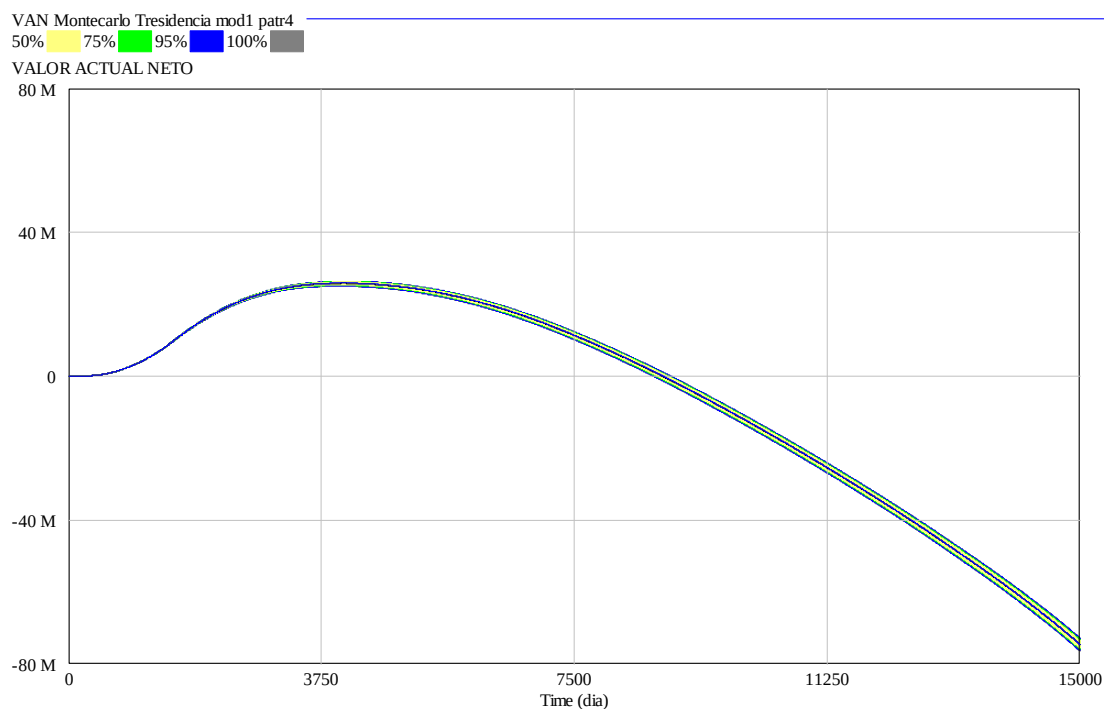


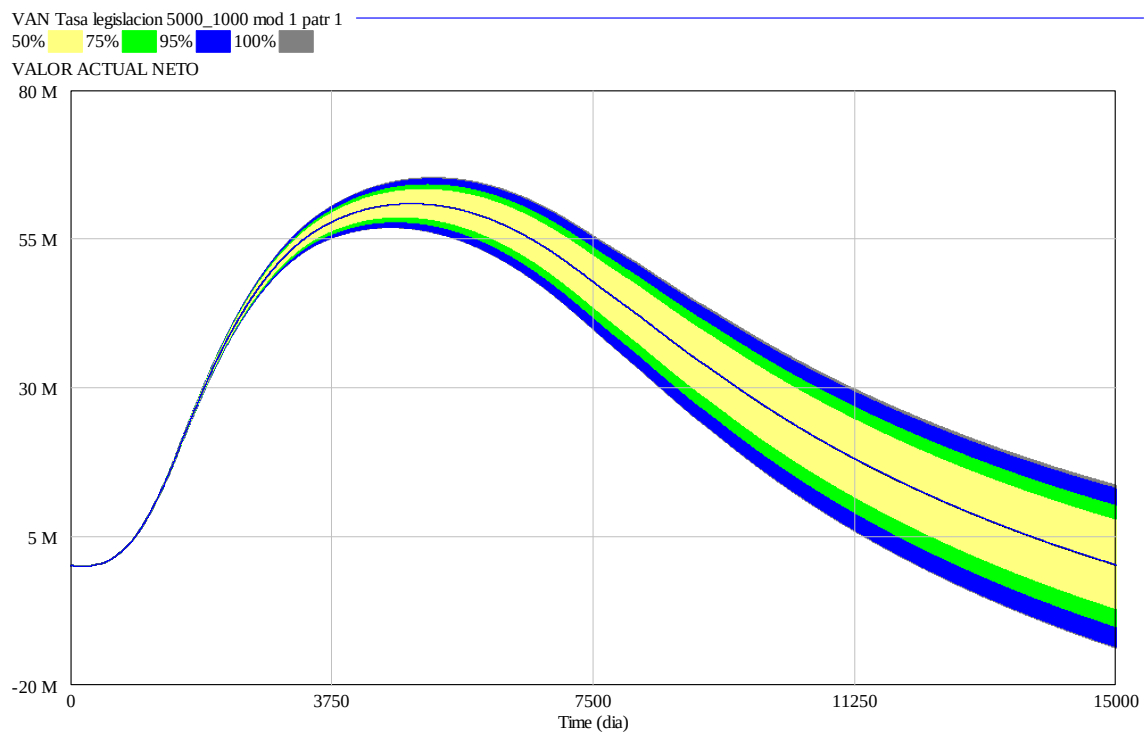
Tabla 12-3 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 1. Sensibilidad del Tiempo de residencia entre el 3 y 8 años.

|                                    | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 1 |               |               |               |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                    | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2  | VAN patrón 3  | VAN patrón 4  |
| Valor a fecha liquidación (3 años) | 32.270.000 €                                                             | -1.473.000 €  | -59.410.000 € | -66.890.000 € |
| Valor a fecha liquidación (8 años) | 36.680.000 €                                                             | 918.544 €     | -52.840.000 € | -63.420.000 € |
| Valor a fin de simulación (3 años) | -1.611.000 €                                                             | -34.820.000 € | -74.820.000 € | -76.360.000 € |
| Valor a fin de simulación (8 años) | 2.128.000 €                                                              | -32.600.000 € | -67.840.000 € | -72.720.000 € |

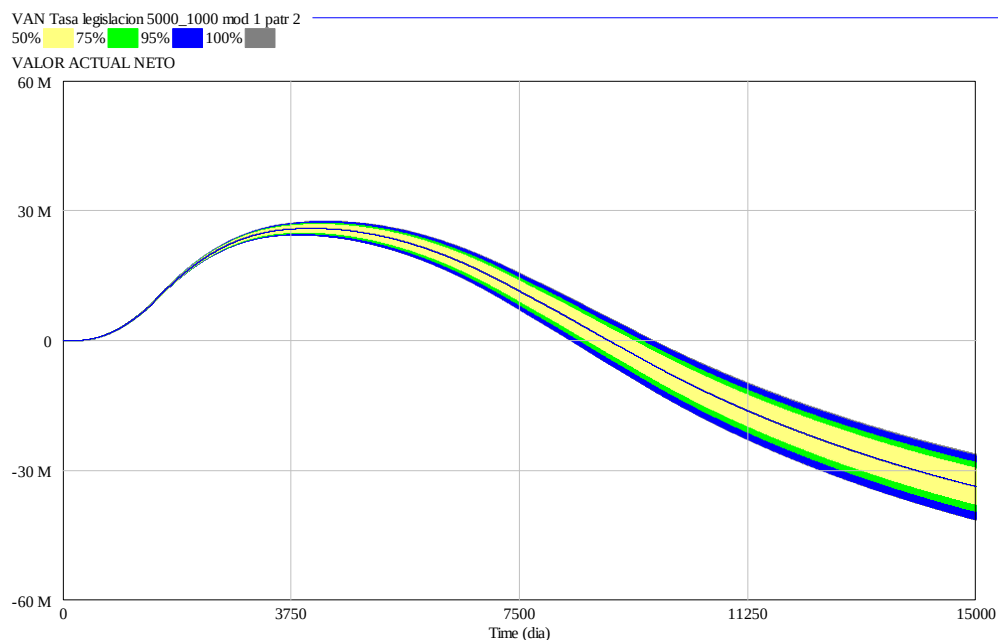
### 12.2.3. Escenario 1. Variación de la tasa impuesta por la legislación entre 1.000 y 5.000 €/ud

Se realiza a continuación el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación de la **tasa impuesta por la legislación** entre 1.000 y 5.000 €/ud.

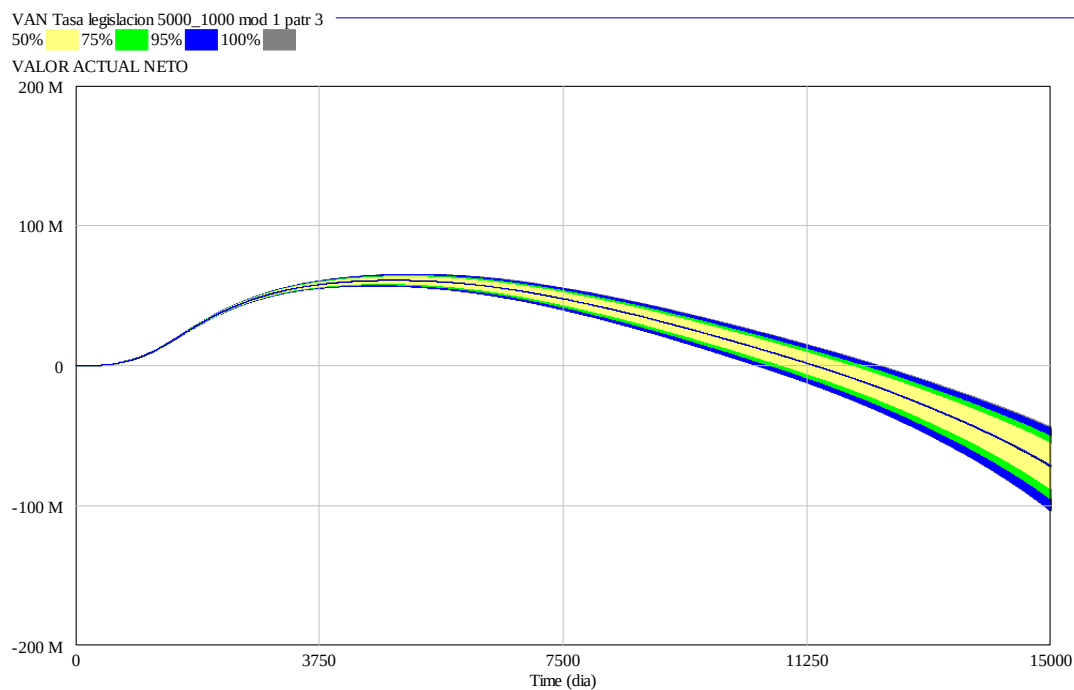
Gráfica 12-41 Análisis de sensibilidad del VAN mediante Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 1).



Gráfica 12-42 Análisis de sensibilidad del VAN mediante Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 1).



Gráfica 12-43 Análisis de sensibilidad del VAN mediante Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 1).



Gráfica 12-44 Análisis de sensibilidad del VAN mediante Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 1).

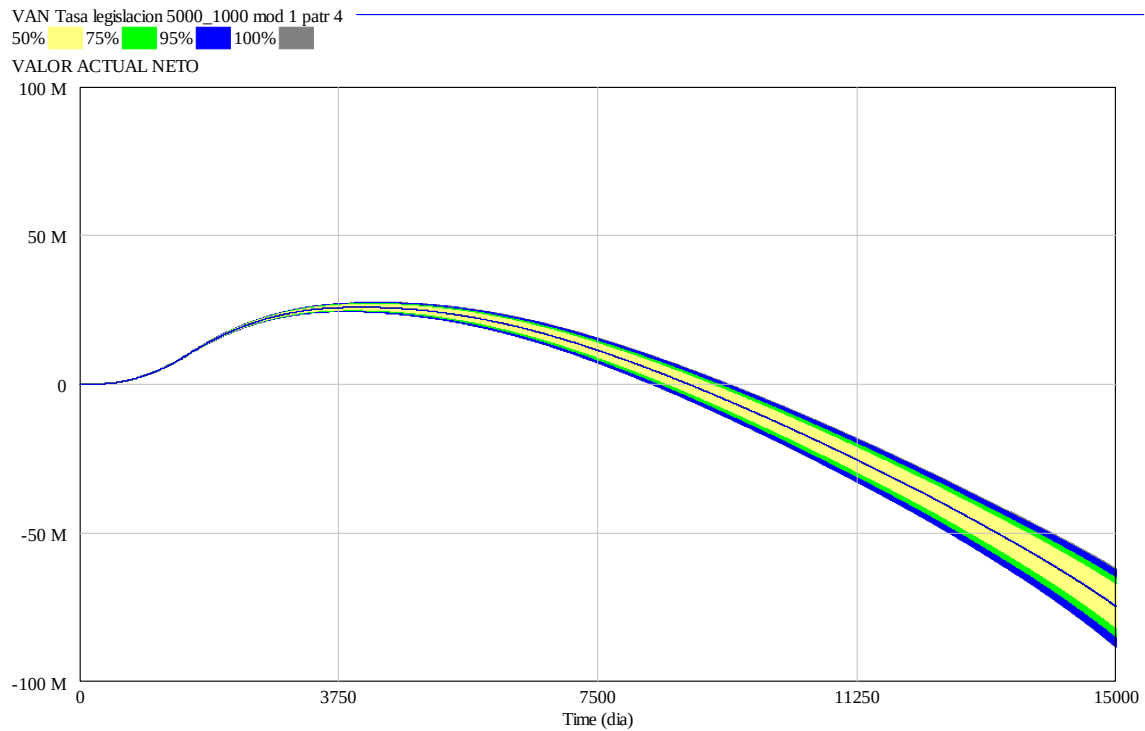


Tabla 12-4 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 1. Sensibilidad de la Tasa impuesta por la legislación entre 1.000 y 5.000 €/ud.

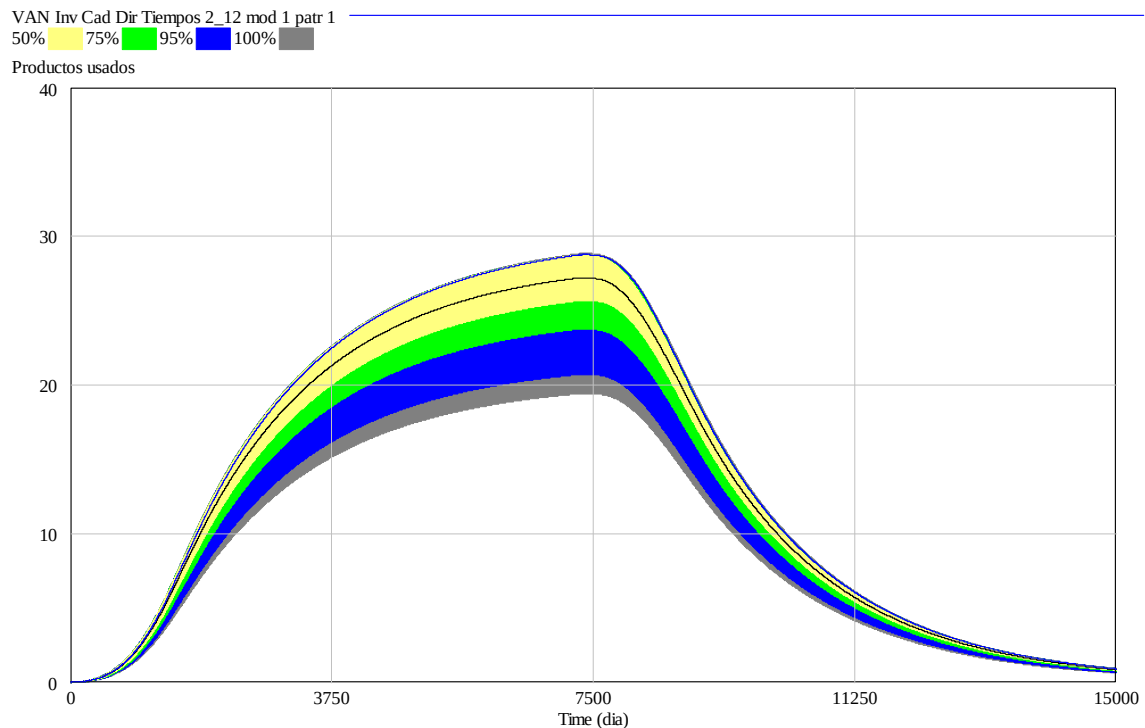
|                                        | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 1 |               |                |               |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|---------------|
|                                        | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2  | VAN patrón 3   | VAN patrón 4  |
| Valor a fecha liquidación (1.000 €/ud) | 44.500.000 €                                                             | 5.140.000 €   | -32.090.000 €  | -53.800.000 € |
| Valor a fecha liquidación (5.000 €/ud) | 24.600.000 €                                                             | -5.599.000 €  | -83.810.000 €  | -77.290.000 € |
| Valor a fin de simulación (1.000 €/ud) | 13.760.000 €                                                             | -26.150.000 € | -43.550.000 €  | -61.800.000 € |
| Valor a fin de simulación (5.000 €/ud) | -13.770.000 €                                                            | -41.480.000 € | -104.040.000 € | -88.420.000 € |

#### 12.2.4. Escenario 1. Variación de los tiempos de suministro de la cadena directa entre 2 y 12 días

Se realizan a continuación una serie de pruebas multivariante considerando todos los tiempos de suministro de la cadena directa variando uniformemente entre 2 y 12 días. El objetivos de estas pruebas es comprobar el efecto que tienen los tiempos de suministro sobre la acumulación de inventarios de manera que se pueda ver para cada inventario implicado en la cadena directa los efectos de dicha variación.

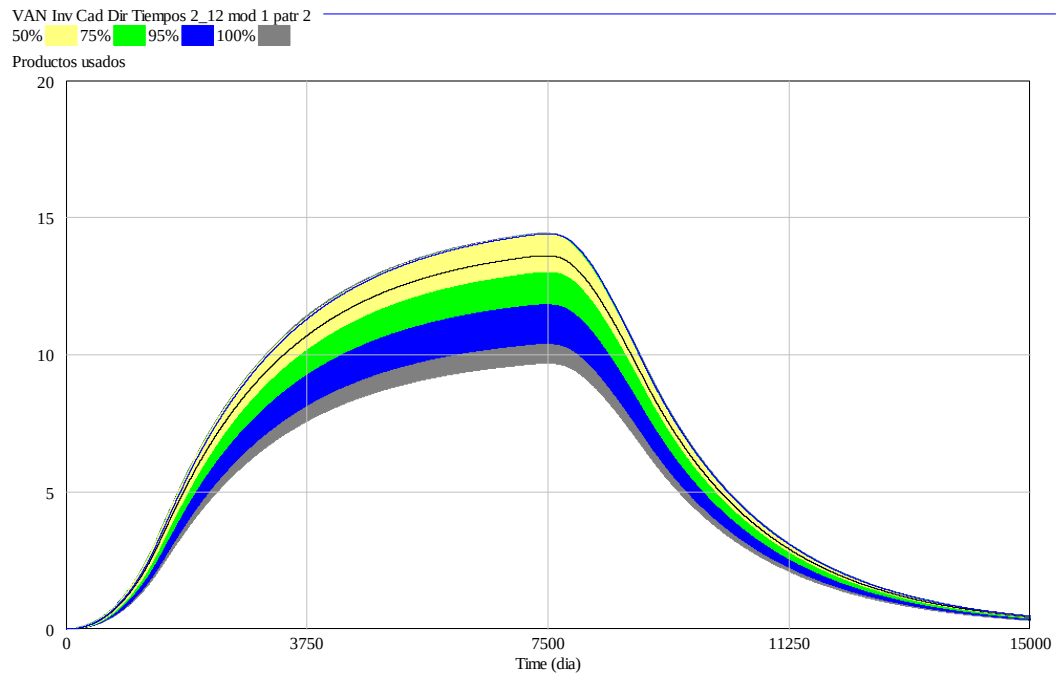
Comenzamos observando los efectos de la variación de los tiempos de suministro sobre los **Productos Usados** para los distintos patrones de demanda.

Gráfica 12-45 Análisis de sensibilidad de los productos usados mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones . (Escenario 1).

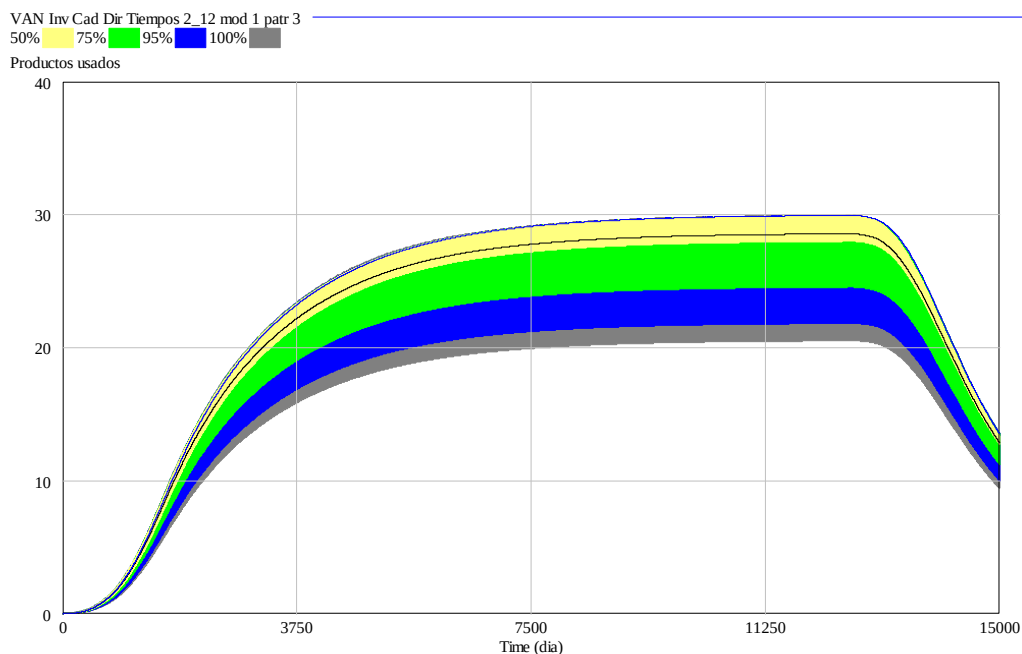




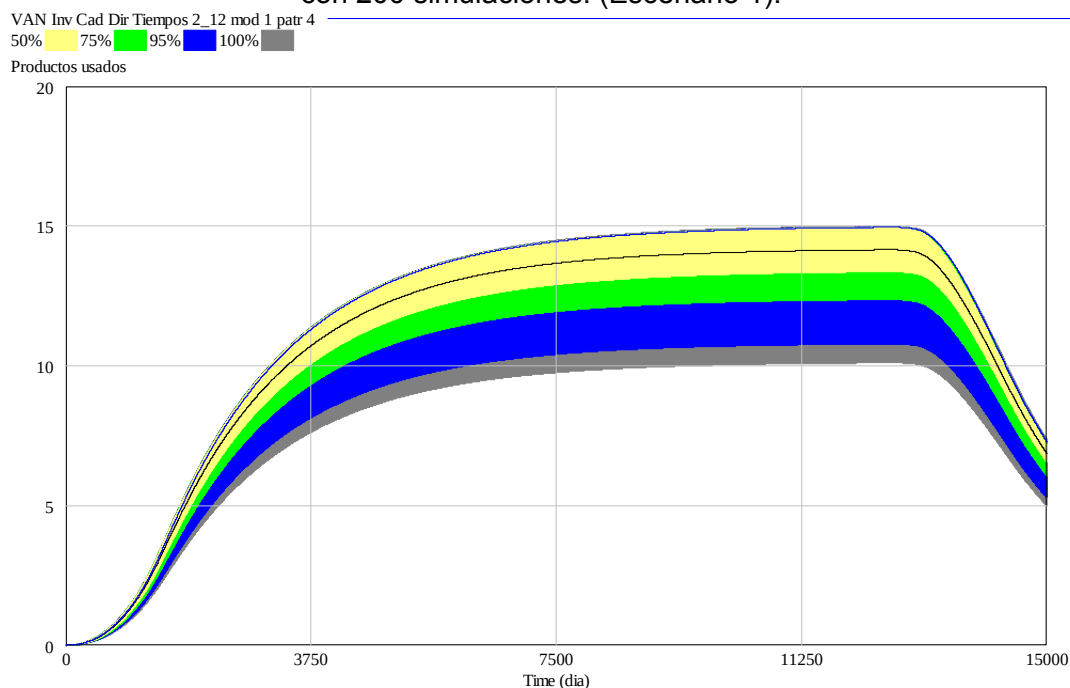
Gráfica 12-46 Análisis de sensibilidad de los productos usados mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).



Gráfica 12-47 Análisis de sensibilidad de los productos usados mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).

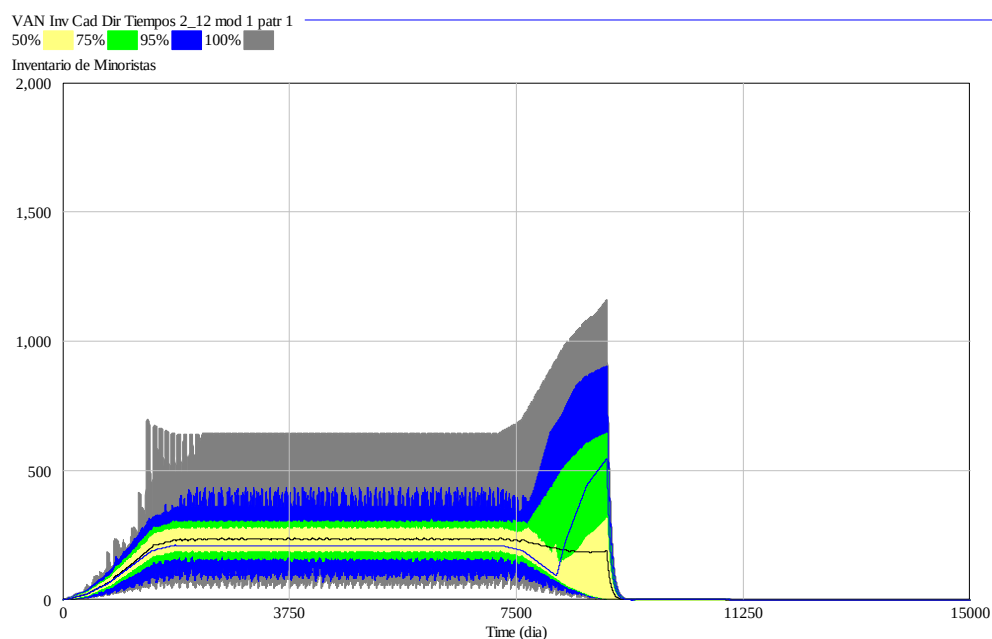


Gráfica 12-48 Análisis de sensibilidad de los productos usados mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).

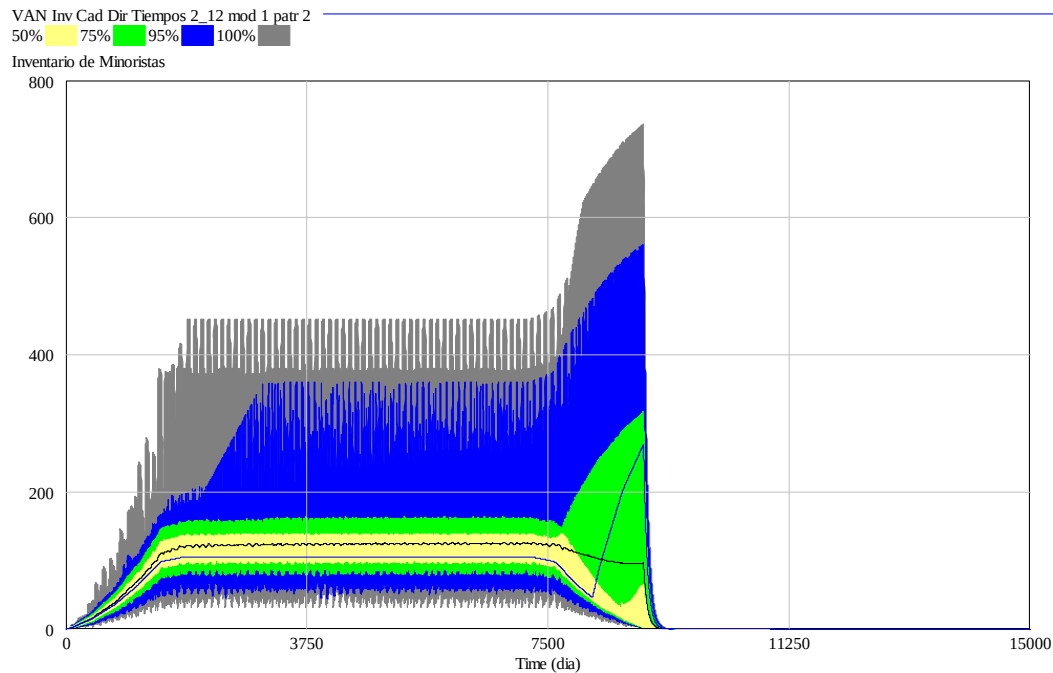


Se muestra a continuación el efecto de la variación de los tiempos de suministro sobre el **Inventario de los Minoristas** para los distintos patrones de demanda.

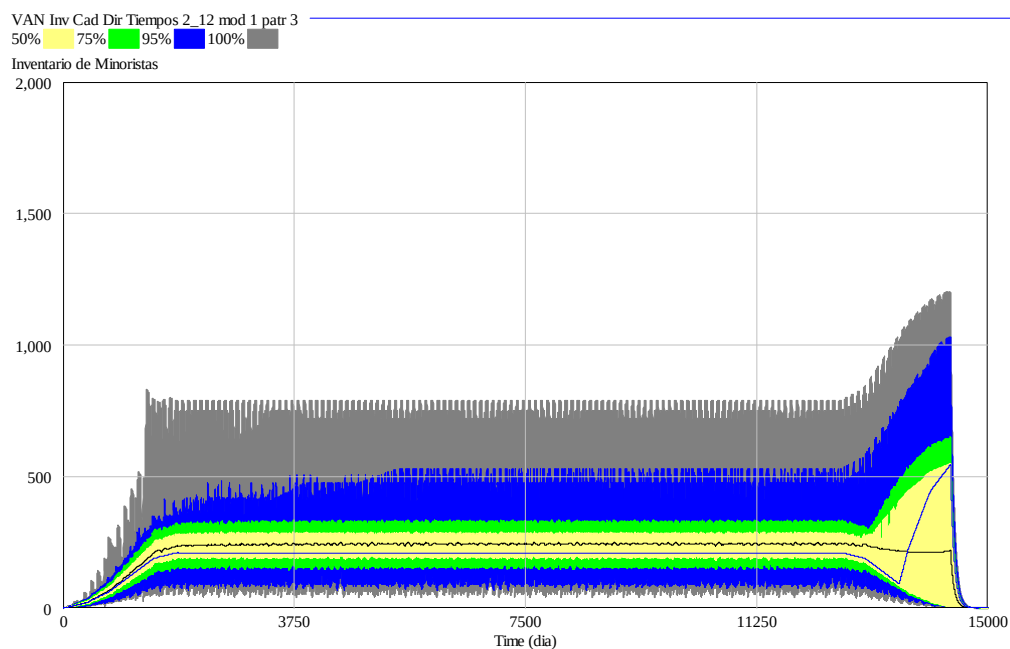
Gráfica 12-49 Análisis de sensibilidad del Inventario de los minoristas mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).



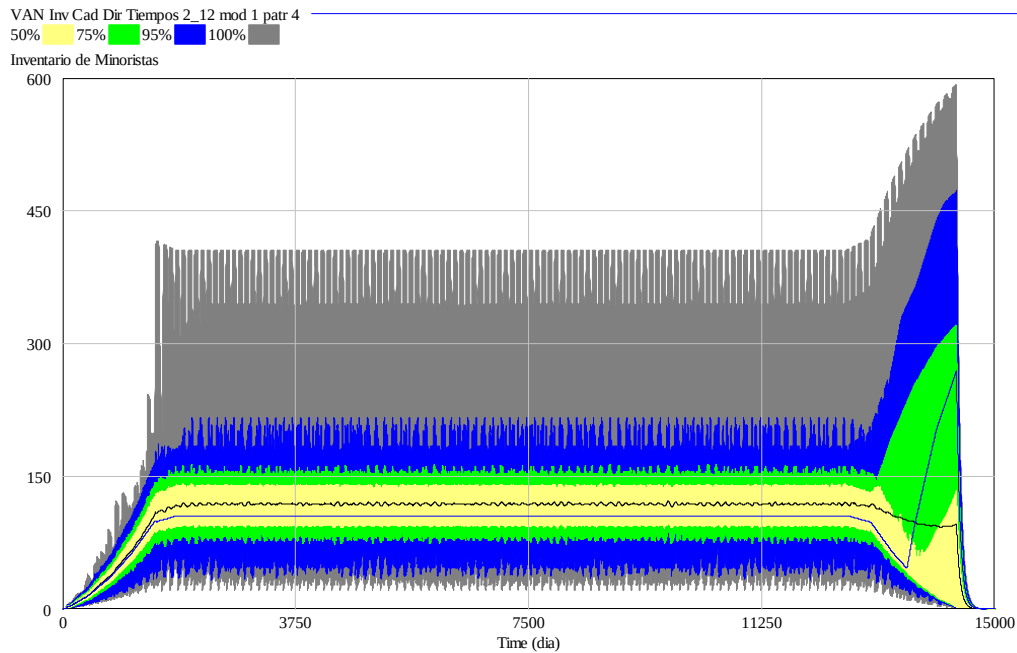
Gráfica 12-50 Análisis de sensibilidad del Inventario de los minoristas mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).



Gráfica 12-51 Análisis de sensibilidad del Inventario de los minoristas mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).

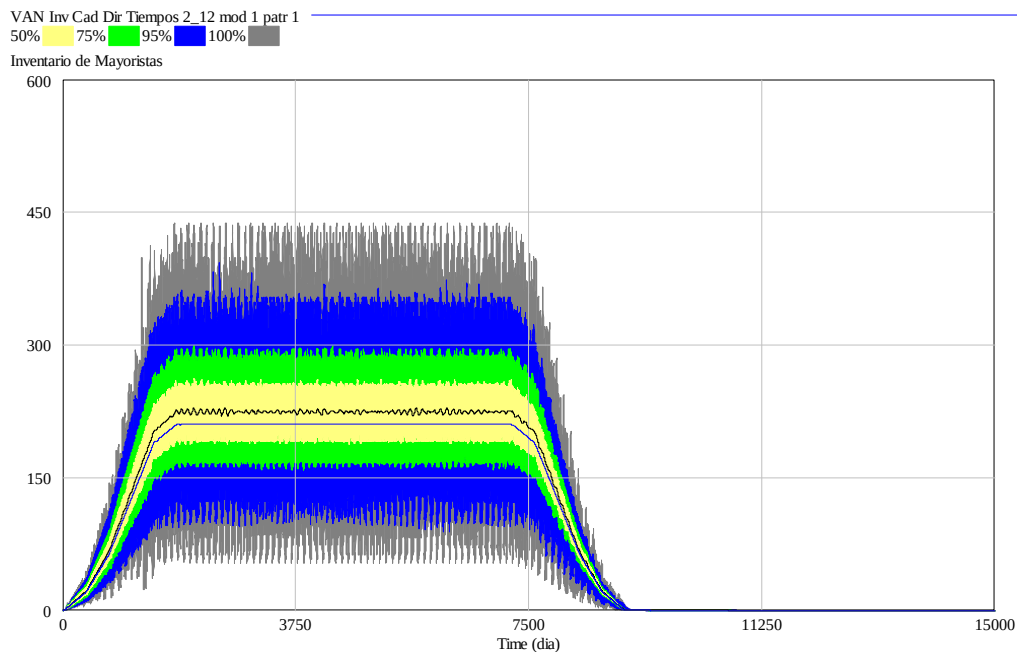


Gráfica 12-52 Análisis de sensibilidad del Inventario de los minoristas mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones . (Escenario 1).

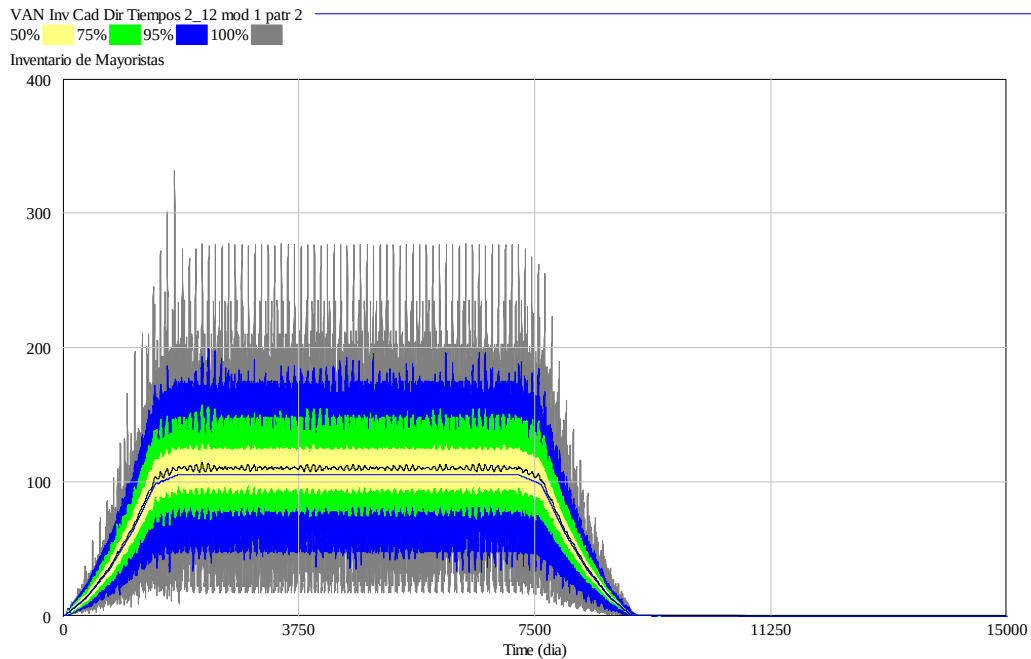


Se muestra a continuación el efecto de la variación de los tiempos de suministro sobre el **Inventario de los Mayoristas** para los distintos patrones de demanda.

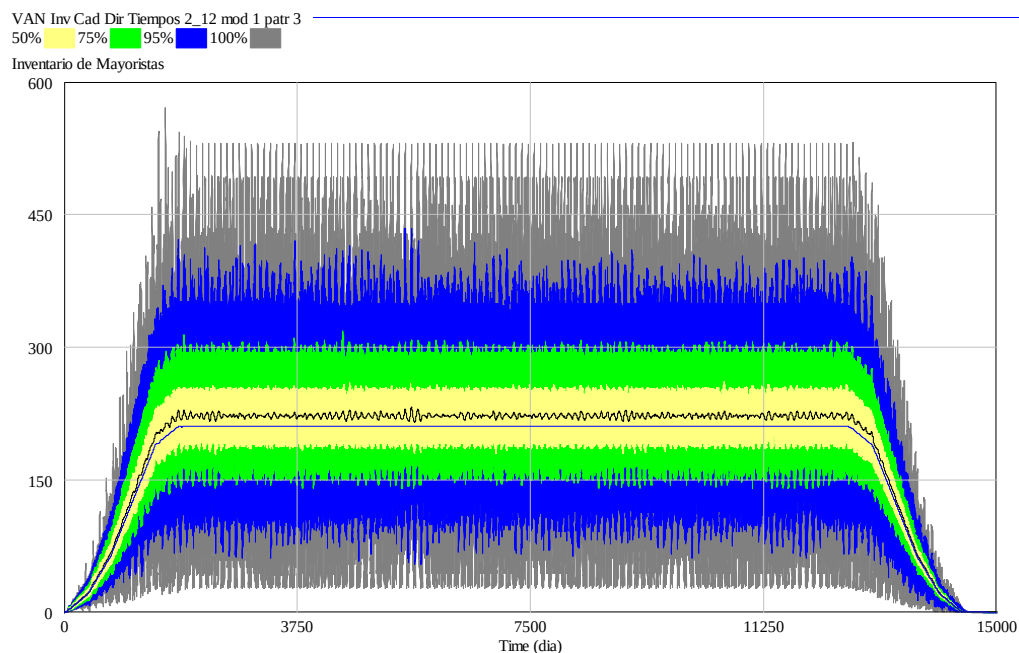
Gráfica 12-53 Análisis de sensibilidad del Inventario de los mayoristas mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).



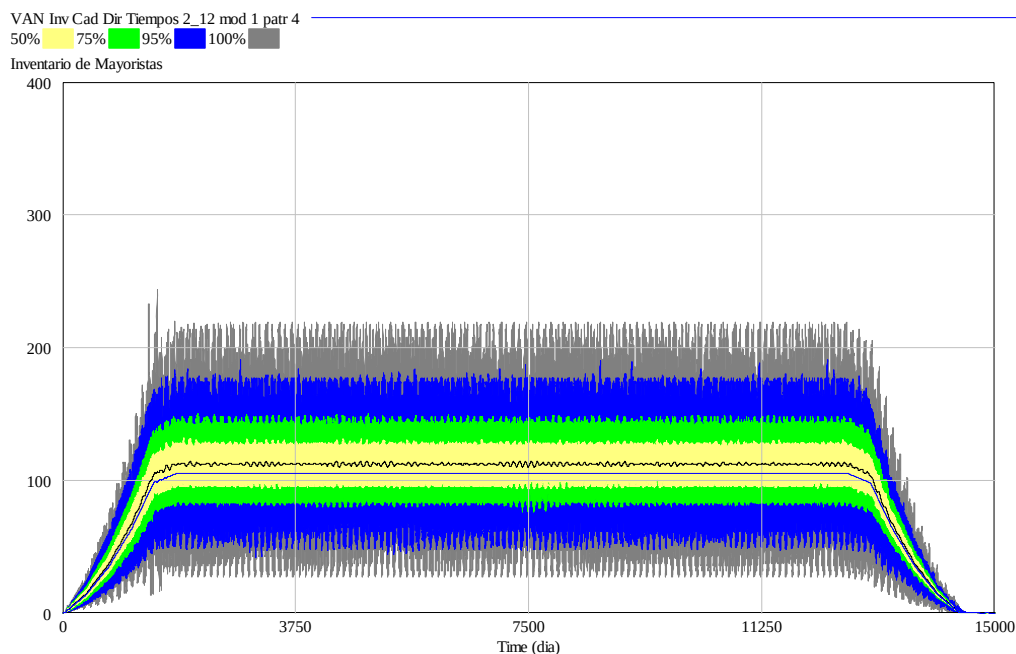
Gráfica 12-54 Análisis de sensibilidad del Inventario de los mayoristas mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).



Gráfica 12-55 Análisis de sensibilidad del Inventario de los mayoristas mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).

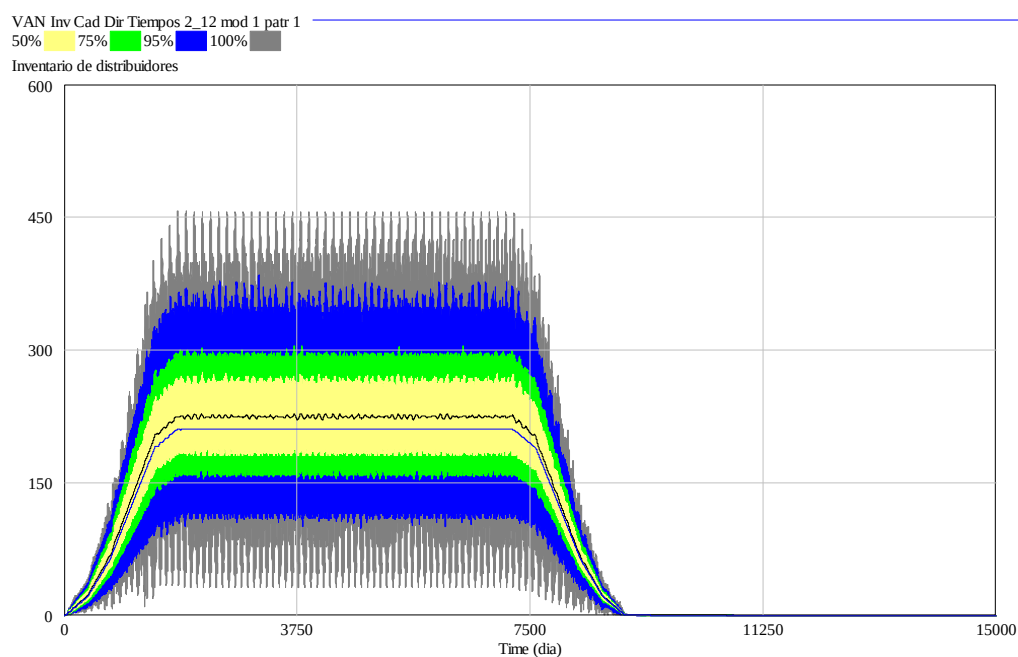


Gráfica 12-56 Análisis de sensibilidad del Inventario de los mayoristas mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).

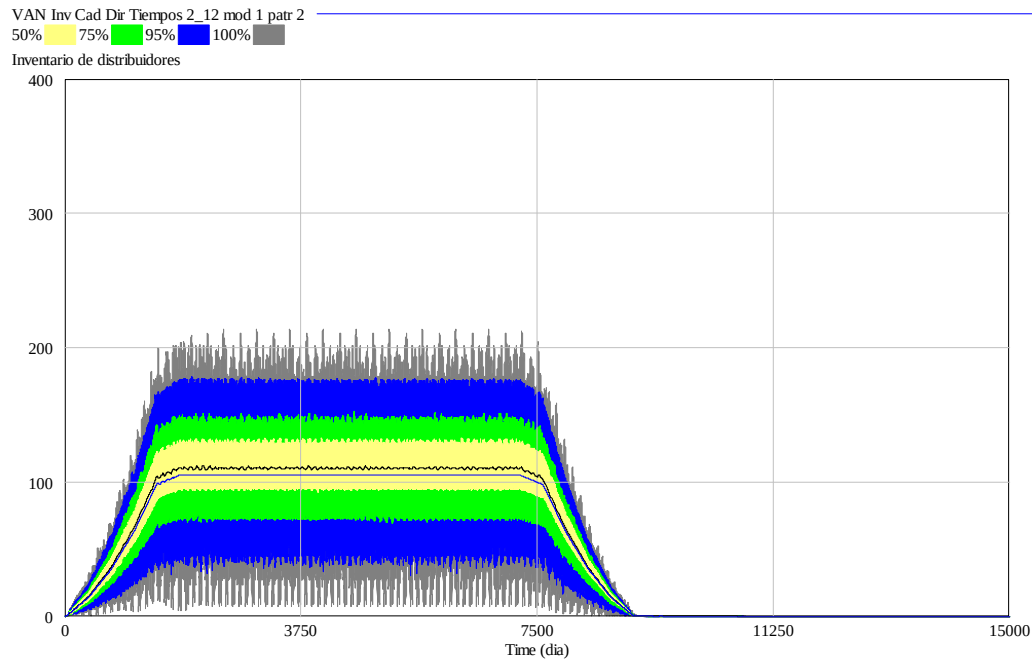


Se muestra a continuación el efecto de la variación de los tiempos de suministro sobre el **Inventario de los Distribuidores** para los distintos patrones de demanda.

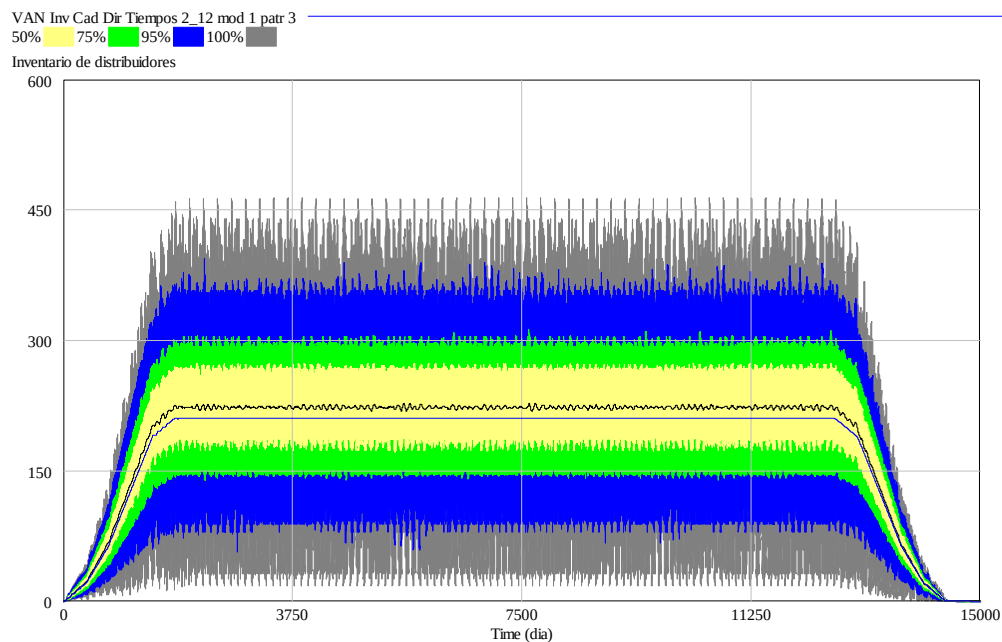
Gráfica 12-57 Análisis de sensibilidad del Inventario de los distribuidores mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).



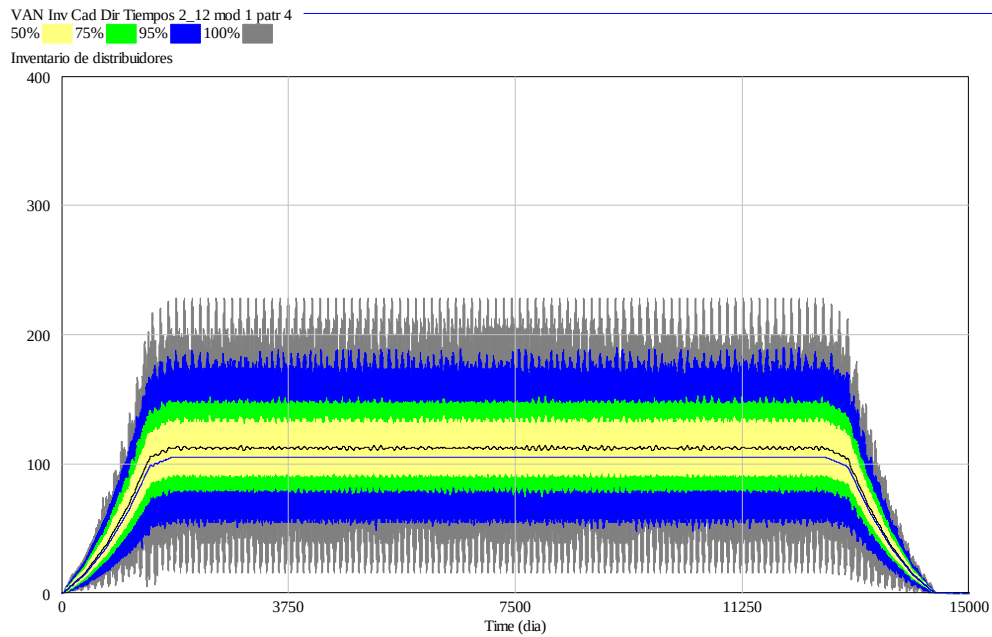
Gráfica 12-58 Análisis de sensibilidad del Inventario de los distribuidores mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).



Gráfica 12-59 Análisis de sensibilidad del Inventario de los distribuidores mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).

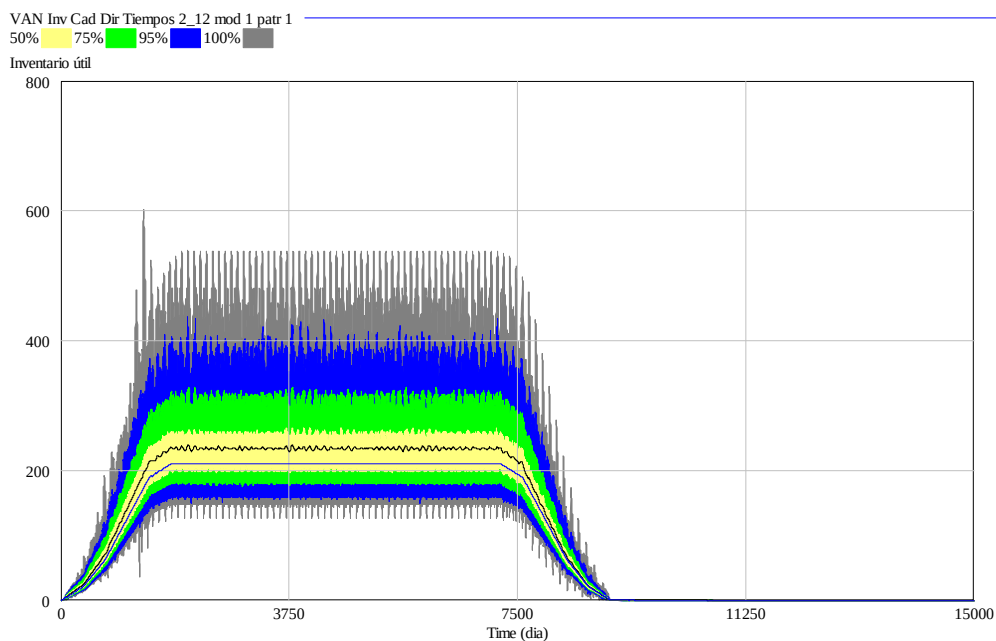


Gráfica 12-60 Análisis de sensibilidad del Inventario de los distribuidores mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).



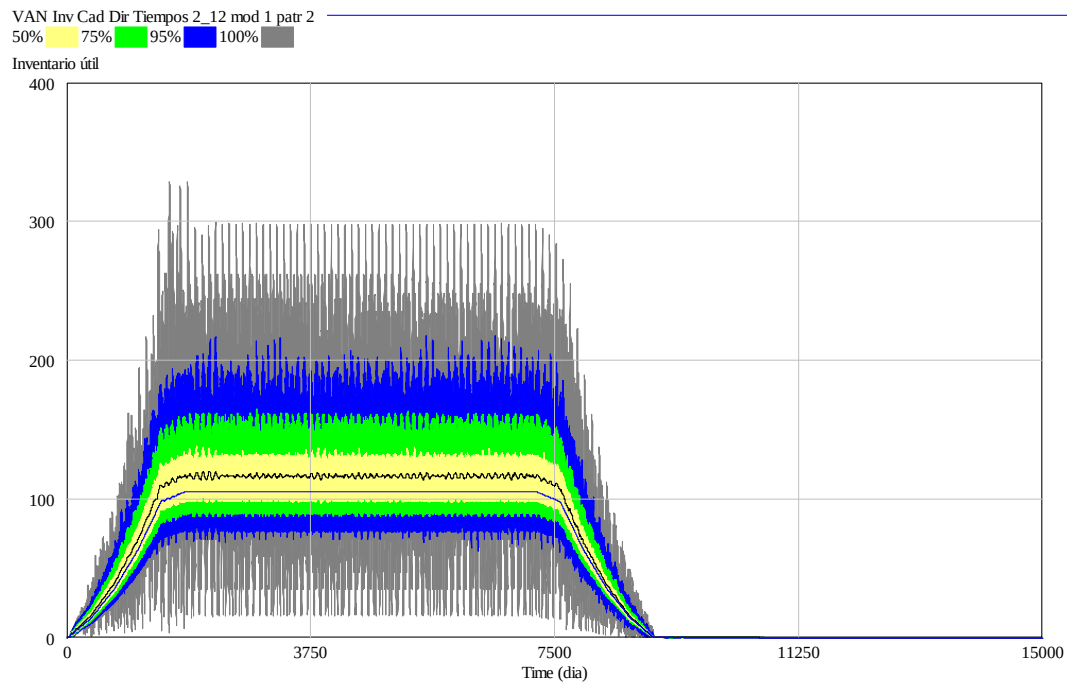
Se muestra a continuación el efecto de la variación de los tiempos de suministro sobre el **Inventario útil** para los distintos patrones de demanda.

Gráfica 12-61 Análisis de sensibilidad del Inventario útil mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).

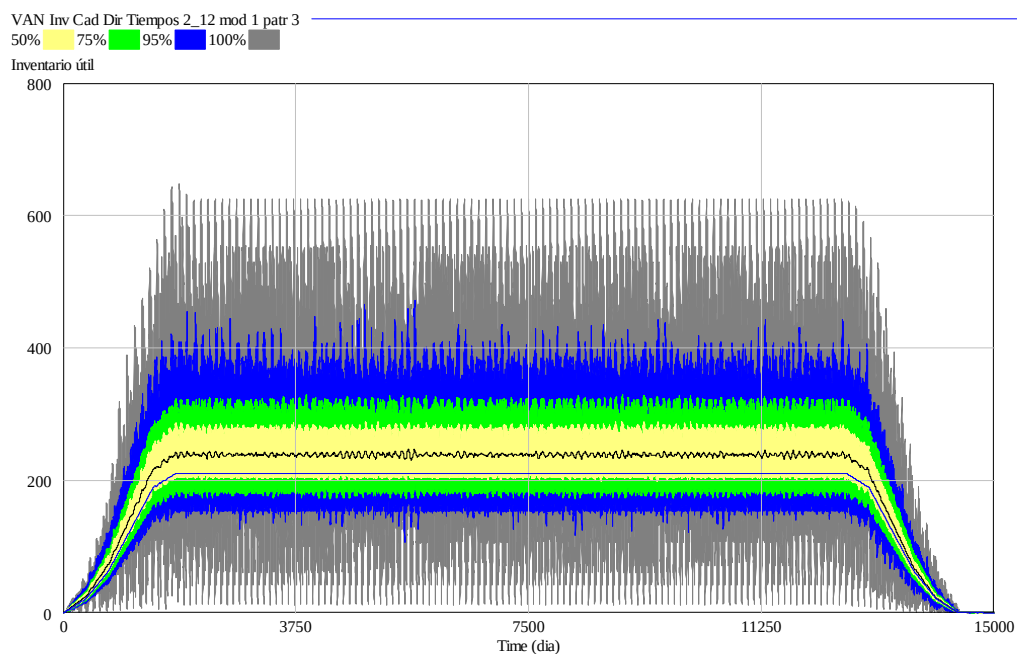




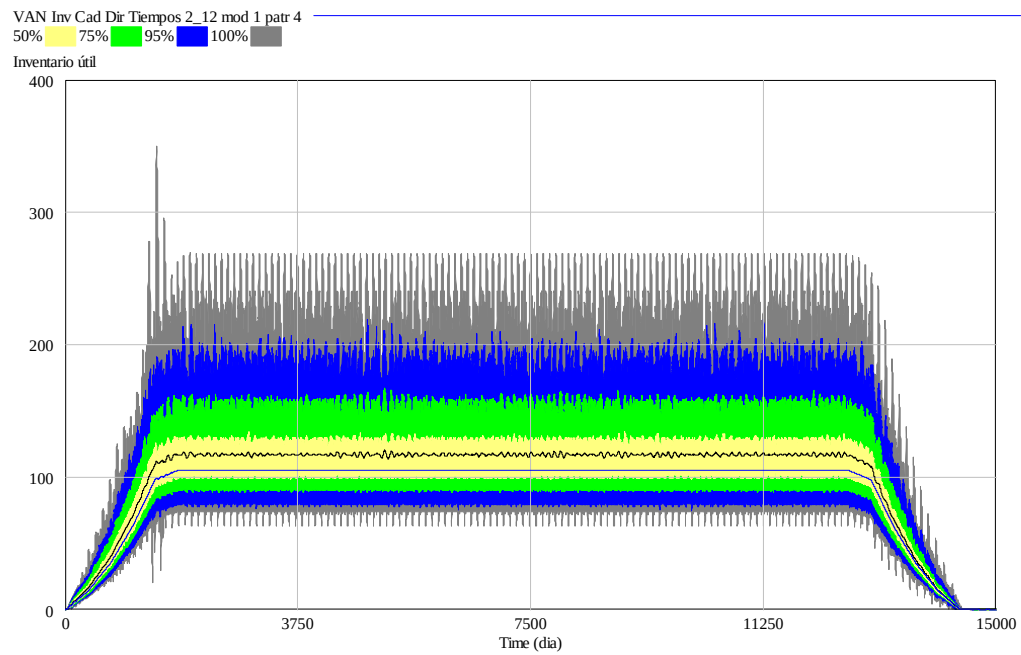
Gráfica 12-62 Análisis de sensibilidad del Inventario útil mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).



Gráfica 12-63 Análisis de sensibilidad del Inventario útil mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).



Gráfica 12-64 Análisis de sensibilidad del Inventario útil mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).



### **12.3. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DEL ESCENARIO 1**

#### **12.3.1. Conclusiones generales sobre el modelo (Escenario 1)**

Del comportamiento del modelo en este escenario 1 se deduce que:

- a) El modelo representa correctamente los desfases temporales fruto de los retardos, tiempos de suministro y tiempos de operación (Producción, reprocesado, inspección y desensamblado).
- b) El modelo representa los efectos de la acumulación de inventarios al producirse cambios en la demanda.
- c) El modelo representa coherentemente las inercias propias del sistema al finalizar las ventas y mantener la estructura de recogida de productos usados y sus costes asociados.
- d) El modelo está preparado para representar distintas proyecciones de evolución de los precios y costes durante el periodo de simulación siendo así una buena herramienta para hacer estudios de tipo “qué pasa si...”.
- e) El modelo permite la realización de análisis de sensibilidad mediante la variación de uno o varios de sus parámetros (análisis multivariante) y permite ver la evolución de dicho análisis sobre todas las variables que se desee. Constituye por lo tanto una buena herramienta de estudio.
- f) El modelo representa el efecto látigo o efecto bullwhip propio de las cadenas de suministro.
- g) El modelo representa coherentemente la liquidación de intereses derivados de la aplicación de las condiciones de la línea de crédito.

#### **12.3.2. Conclusiones específicas sobre el modelo en el caso de estudio (Escenario 1)**

En el caso de estudio de las baterías de litio con los datos manejados se observa lo siguiente:

- a) Con los parámetros de simulación empleados se puede observar que sólo los patrones de demanda 1 y 2, de corta duración producen beneficios mientras que los patrones 3 y 4 de mayor duración, producen pérdidas. Este hecho difiere de los estudios llevados a cabo por (Georgiadis, Vlachos 2004) en los que un patrón de demanda de mayor duración produce más beneficios. La razón para que esto se produzca reside en el hecho de que en el modelo de (Georgiadis, Vlachos 2004) los precios y costes permanecían constantes durante todo el período de simulación mientras que en el modelo que se ha

desarrollado en este trabajo varían según las condiciones indicadas en el apartado 11.2 Datos y parámetros empleados.

- b) Del análisis de sensibilidad realizado sobre la tasa de descuento anual entre un 3% y un 7% se deduce que sólo el patrón de demanda 1 produce beneficios, el patrón de demanda 2 puede producir beneficios o pérdidas y los patrones 3 y 4 producen siempre pérdidas.
- c) Del análisis de sensibilidad realizado sobre el tiempo de residencia entre 3 y 8 años se deduce que también en este caso sólo el patrón de demanda 1 produce beneficios, el patrón de demanda 2 puede producir beneficios o pérdidas y los patrones 3 y 4 producen siempre pérdidas.
- d) Del análisis de sensibilidad realizado sobre la tasa impuesta por la legislación entre 1.000 y 5.000 €/ud se deduce que también en este caso sólo el patrón de demanda 1 produce beneficios, el patrón de demanda 2 puede producir beneficios o pérdidas y los patrones 3 y 4 producen siempre pérdidas.
- e) Aunque el VAN es sensible a los tres parámetros (Tasa de descuento anual, Tiempo de residencia y Tasa impuesta por la legislación) se muestra más sensible a la Tasa impuesta por la legislación, seguida de la Tasa de descuento anual y finalmente del Tiempo de residencia tal y como puede observarse en los gráficos.
- f) En análisis de sensibilidad multivariante sobre los tiempos de suministro variando entre 2 y 12 días según una distribución uniforme muestra que los Productos usados son muy sensibles a dicha variación para todos los patrones de demanda.
- g) En análisis de sensibilidad multivariante sobre los tiempos de suministro variando entre 2 y 12 días según una distribución uniforme muestra que el Inventario de los Minoristas es muy sensible a dicha variación para todos los patrones de demanda. En el caso de los patrones de demanda con alta demanda (1 y 3) el inventario puede llegar a doblarse y en los patrones con baja demanda (2 y 4) el inventario puede llegar a triplicarse.
- h) En análisis de sensibilidad multivariante sobre los tiempos de suministro variando entre 2 y 12 días según una distribución uniforme muestra que el Inventario de los Mayoristas, de los distribuidores y el Inventario útil de la planta de producción también son muy sensibles a dicha variación para todos los patrones de demanda.

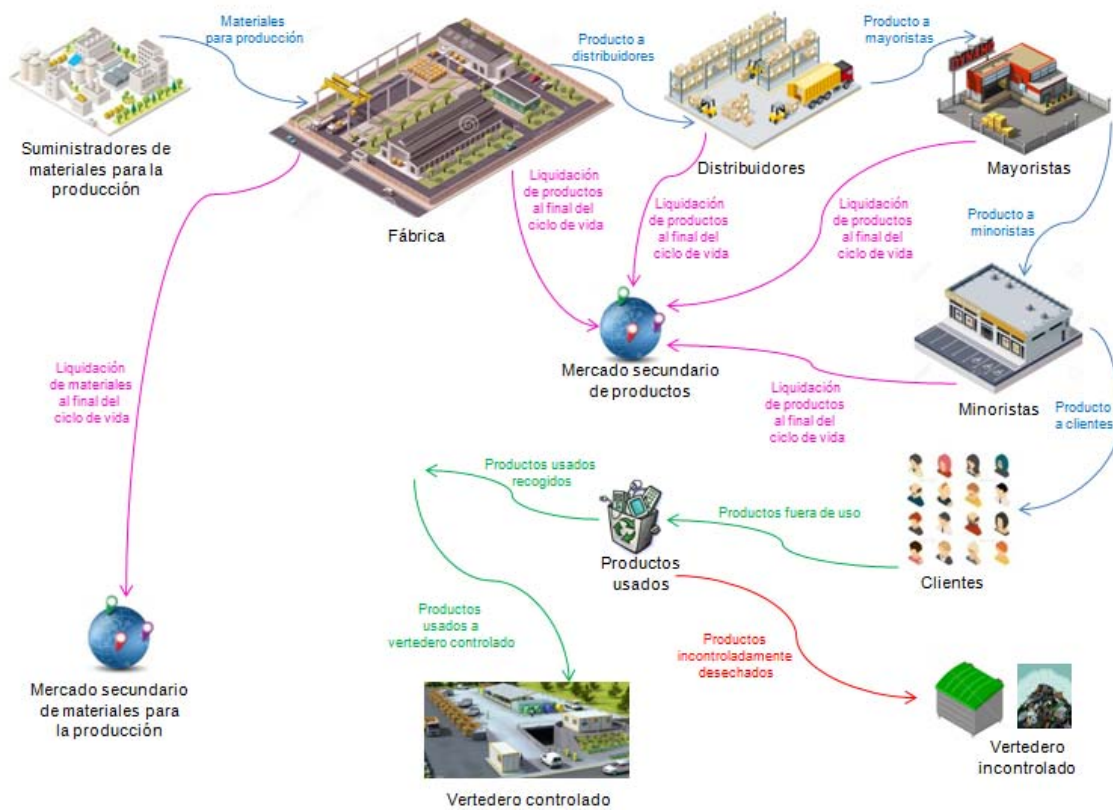


### 13. ESCENARIO 2. CADENA DE SUMINISTRO DIRECTA CON VERTIDO CONTROLADO DEL PRODUCTO USADO

Se configura el modelo para que trabaje la cadena directa con recogida de productos.

El esquema general de la cadena de suministro se muestra en la ilustración 13-1.

Ilustración 13-1 Esquema de red sólo con cadena directa con recogida de productos.  
(Escenario 2)



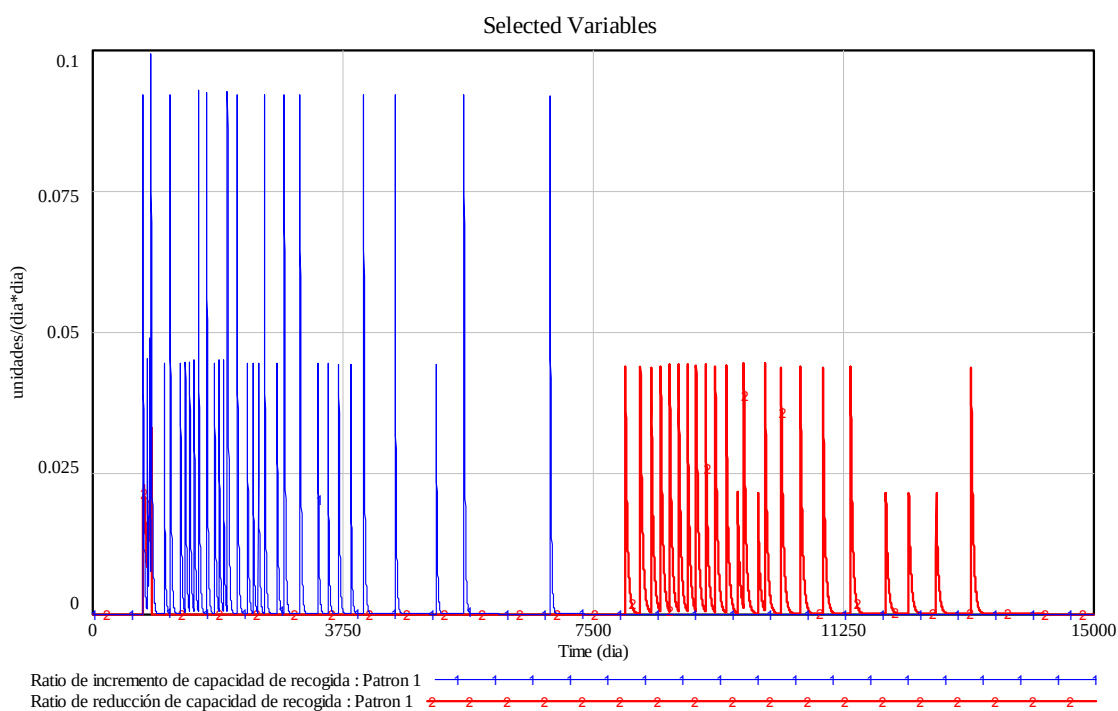
### 13.1. COMPORTAMIENTO DEL MODELO SEGÚN LOS PATRONES DE DEMANDA DEL PRODUCTO (Escenario 2)

#### 13.1.1 Comportamiento con patrón de demanda 1 (Escenario 2)

Al introducir la posibilidad de recoger los productos al final de su vida útil es necesario ahora generar una determinada capacidad de recogida invirtiendo hasta obtener el valor nominal de productos usado y desinvirtiendo a medida que se reduce el número de productos usados.

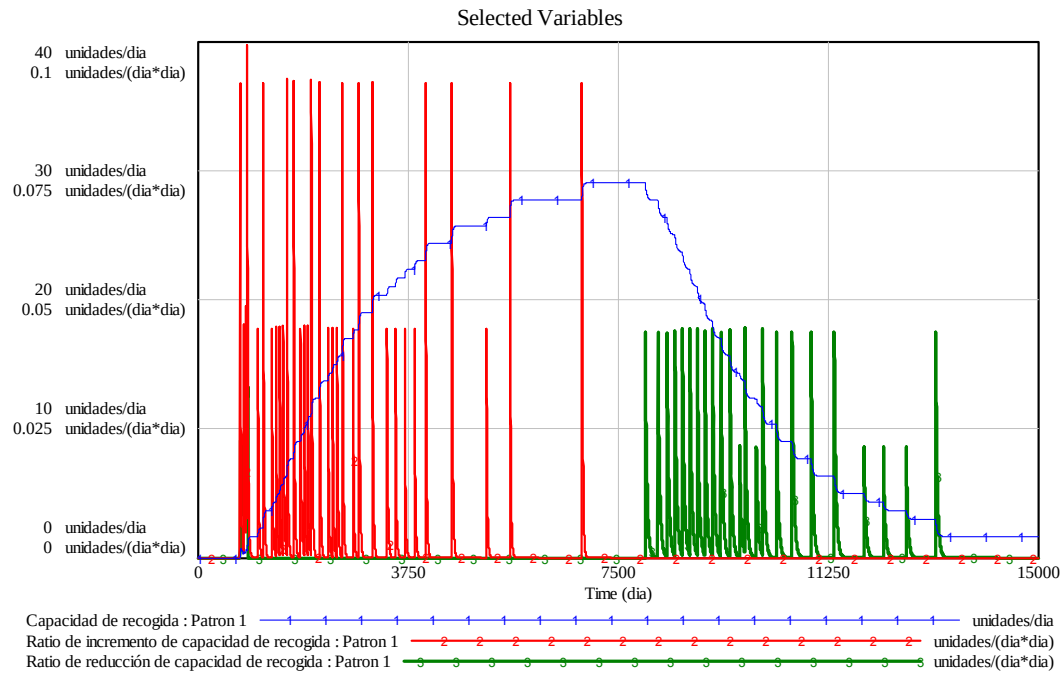
Para ello se ha incluido en el modelo un sistema de pulsos que indiquen cuando y cuanto es necesario invertir o desinvertir en **Capacidad de recogida**.

Gráfica 13-1 Pulsos de incremento y reducción de la capacidad de recogida para el patrón de demanda 1. (Escenario 2).



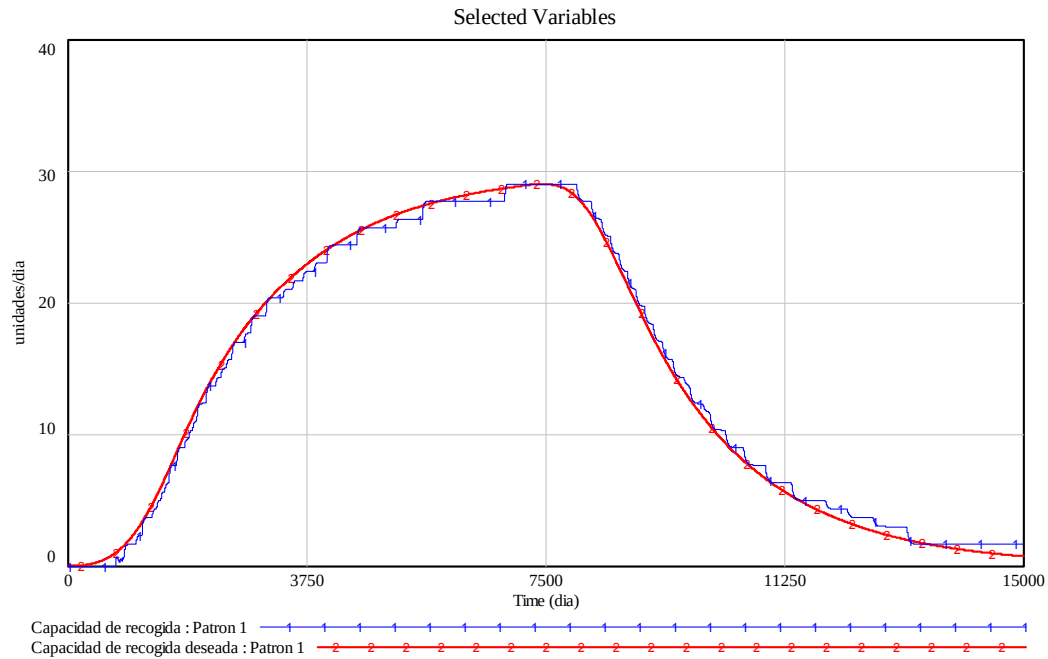
En la gráfica 13-2 se muestra la correlación entre los pulsos de variación de la capacidad de recogida y la capacidad que se va obteniendo.

Gráfica 13-2 Construcción y reducción de la capacidad de recogida para el patrón de demanda 1. (Escenario 2).



En la siguiente gráfica se puede observar cómo la **Capacidad de recogida** obtenida se ajusta a la **Capacidad de recogida deseada**.

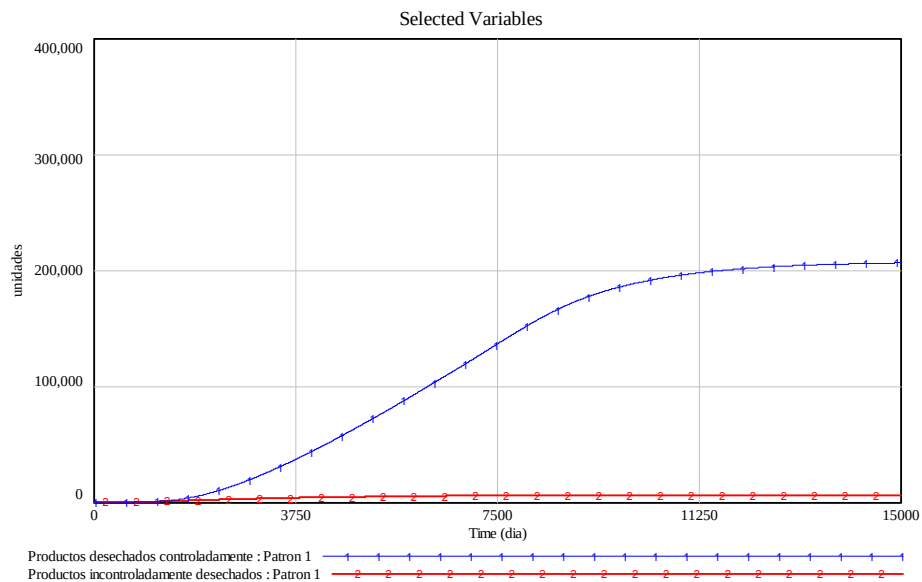
Gráfica 13-3 Comparativa de la capacidad de recogida deseada y de la capacidad de recogida efectiva para el patrón de demanda 1. (Escenario 2).





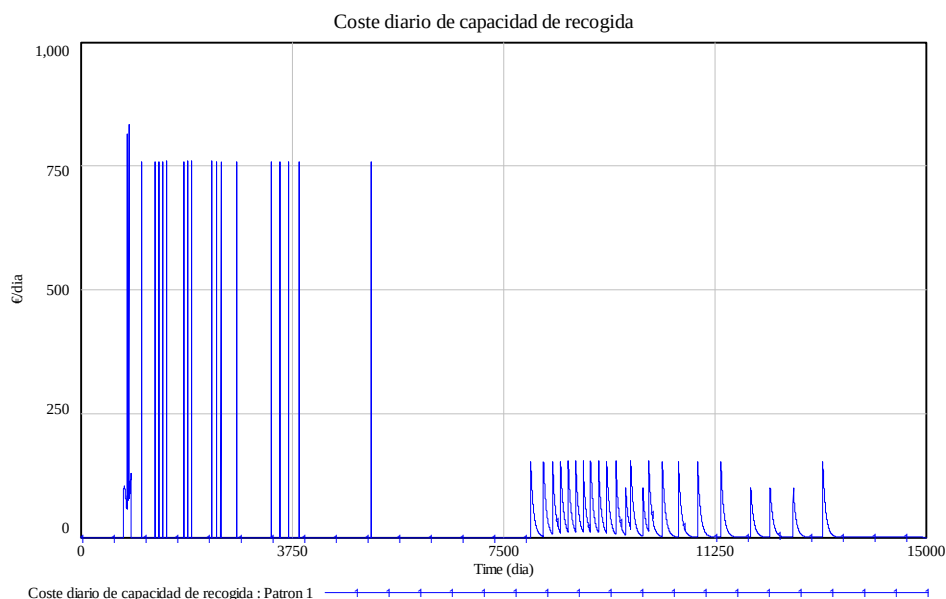
A medida que se van recogiendo los productos se van desechando controladamente y puede comprobarse cómo hay una gran diferencia entre los **Productos desechados controladamente** y los **Productos incontroladamente desechados**.

Gráfica 13-4 Comparativa de los valores acumulados de los productos desechados controladamente frente a los productos incontroladamente desechados para el patrón de demanda 1. (Escenario 2).



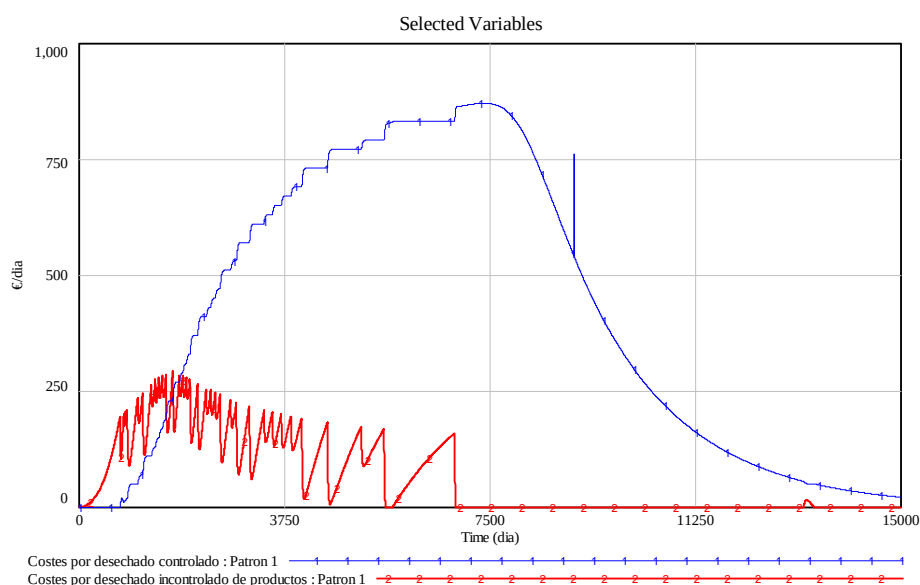
A medida que se van produciendo los pulsos de variación también se producen costes por inversión o desinversión en capacidad de recogida tal y como se muestra en la siguiente gráfica.

Gráfica 13-5 Costes diarios de capacidad de recogida debidos al incremento y reducción de dicha capacidad para el patrón de demanda 1. (Escenario 2).



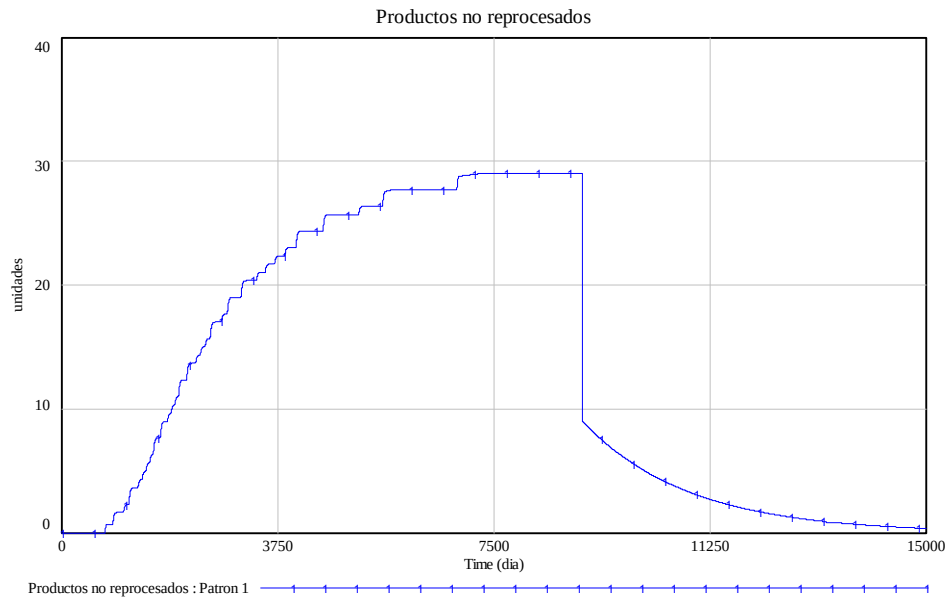
Si comparamos los costes por desecho incontrolado con los del desecho controlado (Ver gráfica 13-6) observamos como los primeros van decreciendo y cesan. Los costes por desecho controlado siguen un patrón proporcional al de la capacidad de recogida, salvo por un pulso que aparece a medida que decrece. Este pulso es debido al desecho controlado de los productos fruto de la acumulación final de productos cuando ha caído la demanda.

Gráfica 13-6 Comparativa de los costes por desecho controlado y los costes por desecho incontrolado de productos para el patrón de demanda 1. (Escenario 2).



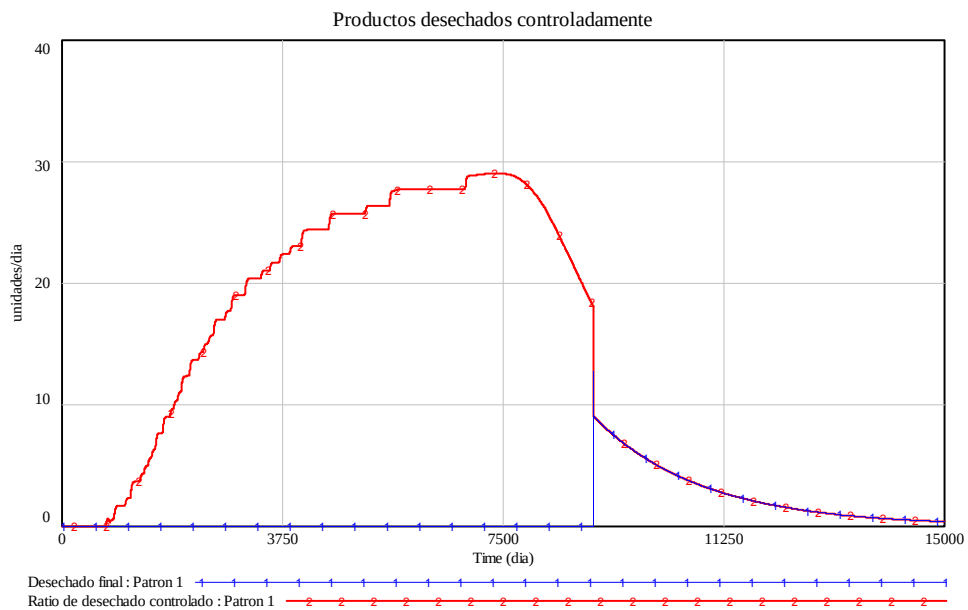
Puede verse cómo la acumulación de productos recogidos, denominados como Productos no reprocesados cae al caer la demanda de productos.

Gráfica 13-7 Productos no reprocesados para el patrón de demanda 1. (Escenario 2).



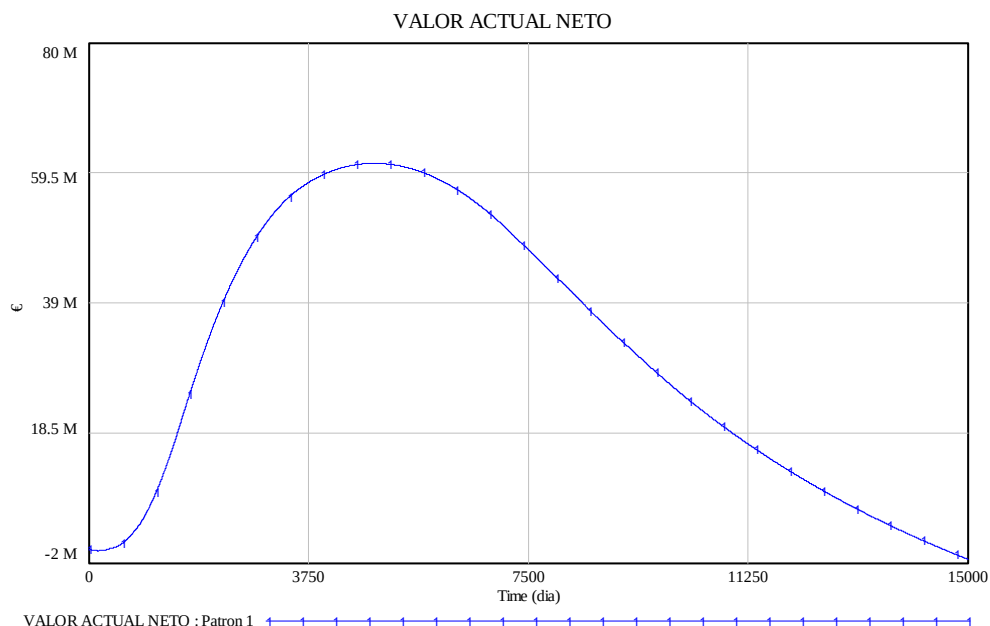
El **Ratio de desechado controlado** frente al **Desechado final** nos muestra cómo evoluciona el desechado controlado.

Gráfica 13-8 Desechado final de productos y Ratio de desechado controlado para el patrón de demanda 1. (Escenario 2).



Por último se muestra la evolución del Valor actual neto del conjunto de la red considerando la recogida con el patrón de demanda 1.

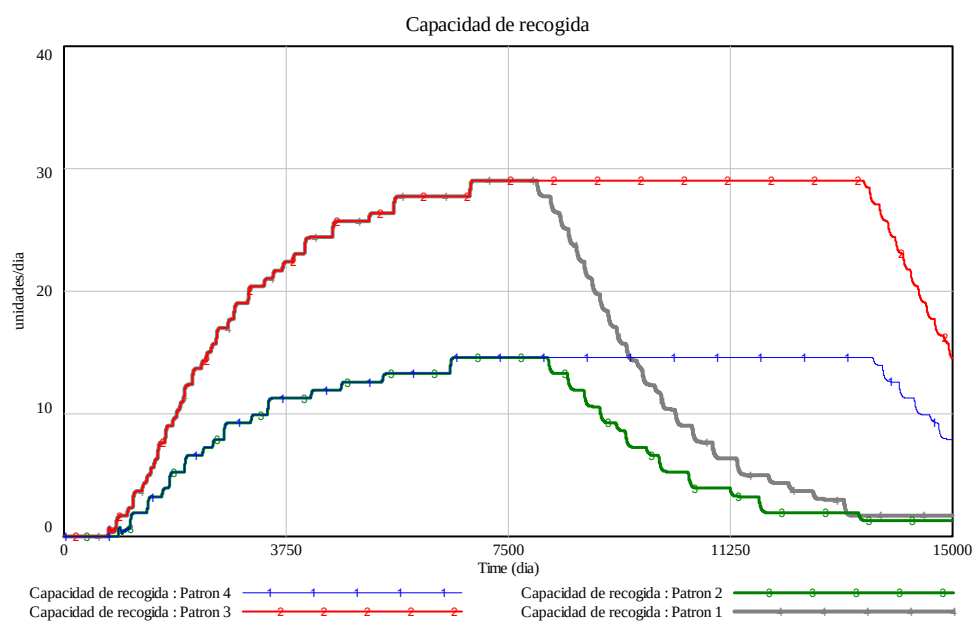
Gráfica 13-9 Valor actual neto para el patrón de demanda 1. (Escenario 2).



### 13.1.2. Comportamiento con los distintos patrones de demanda (Escenario 2)

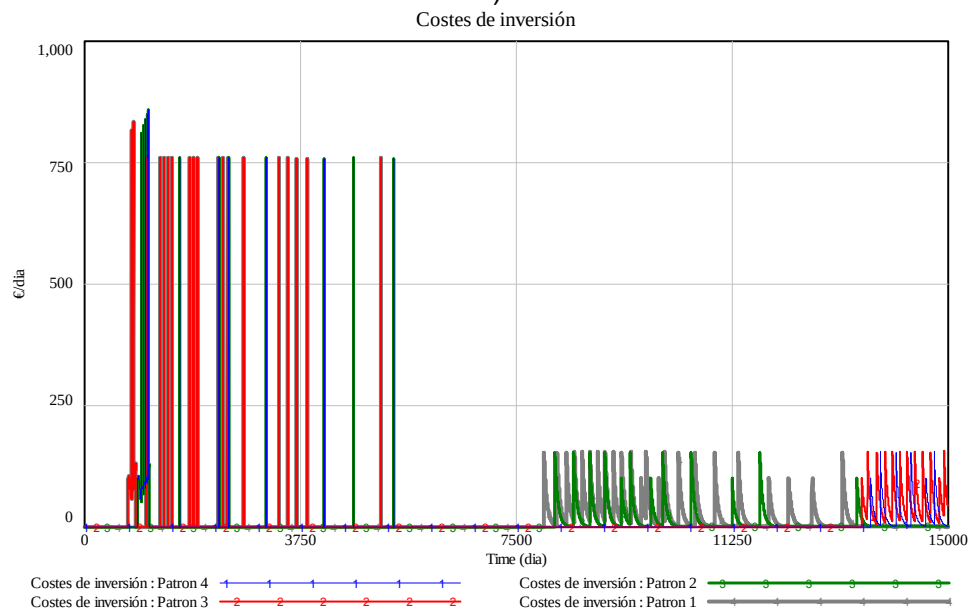
Las **Capacidades de recogida** según los distintos patrones de demanda se muestran en la siguiente gráfica.

Gráfica 13-10 Capacidad de recogida para los distintos patrones de demanda. (Escenario 2).



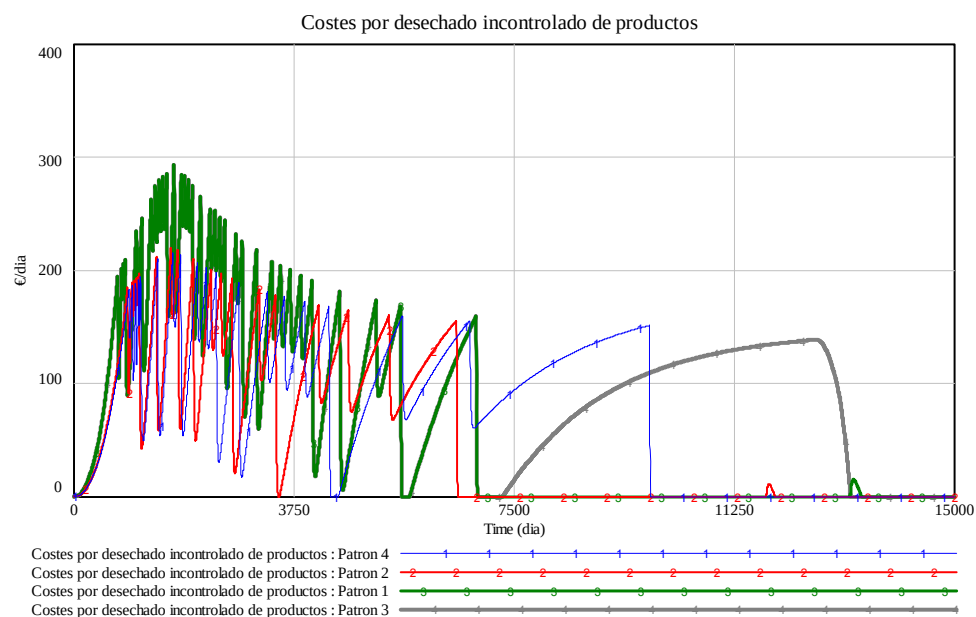
Los **Costes de inversión** en la capacidad de recogida según los diferentes patrones de demanda son los siguientes:

Gráfica 13-11 Costes de inversión para los distintos patrones de demanda. (Escenario 2).



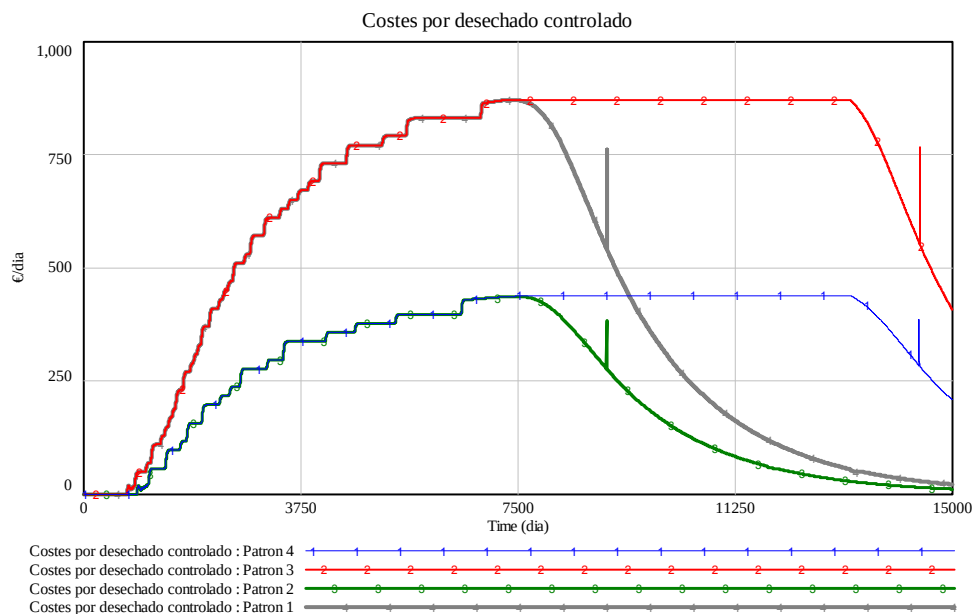
En la siguiente gráfica se muestran los costes por desecho incontrolado según los patrones de demanda donde puede verse que los patrones de demanda 3 y 4 al ser de mayor duración producen desecho incontrolado durante un mayor período de tiempo.

Gráfica 13-12 Gráfica de comparación de los costes por desecho incontrolado de productos para los distintos patrones de demanda. (Escenario 2).



Los costes por desecho controlado presentan para todos los patrones de demanda el comportamiento del pulso antes citado.

Gráfica 13-13 Costes por desecho controlado de productos para los distintos patrones de demanda. (Escenario 2).



Gráfica 13-14 VAN para los distintos patrones de demanda. (Escenario 2).

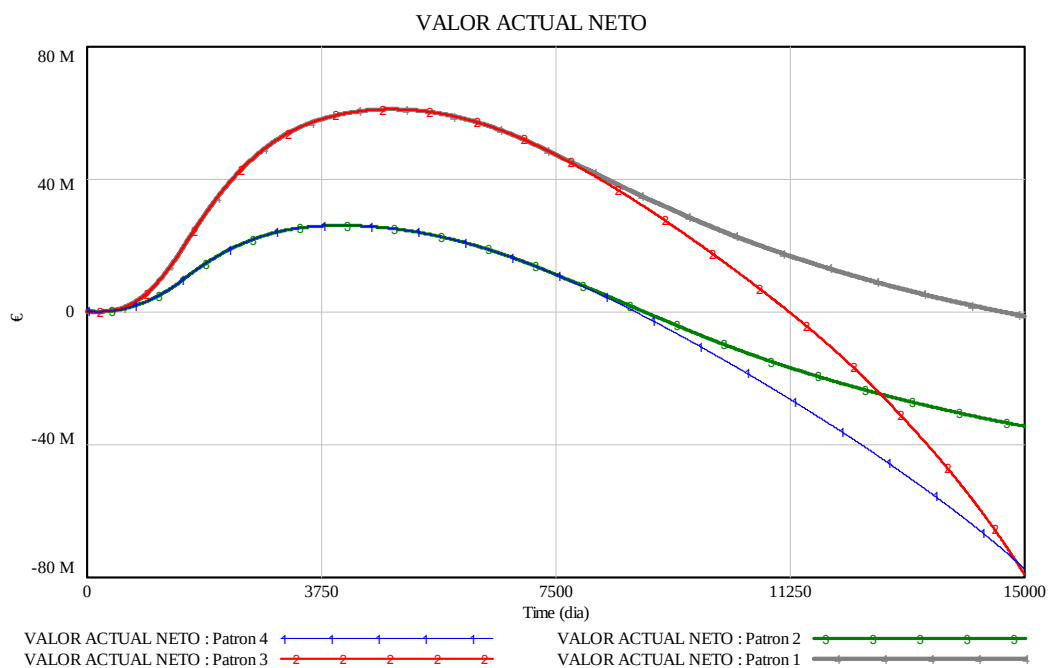


Tabla 13-1 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 2

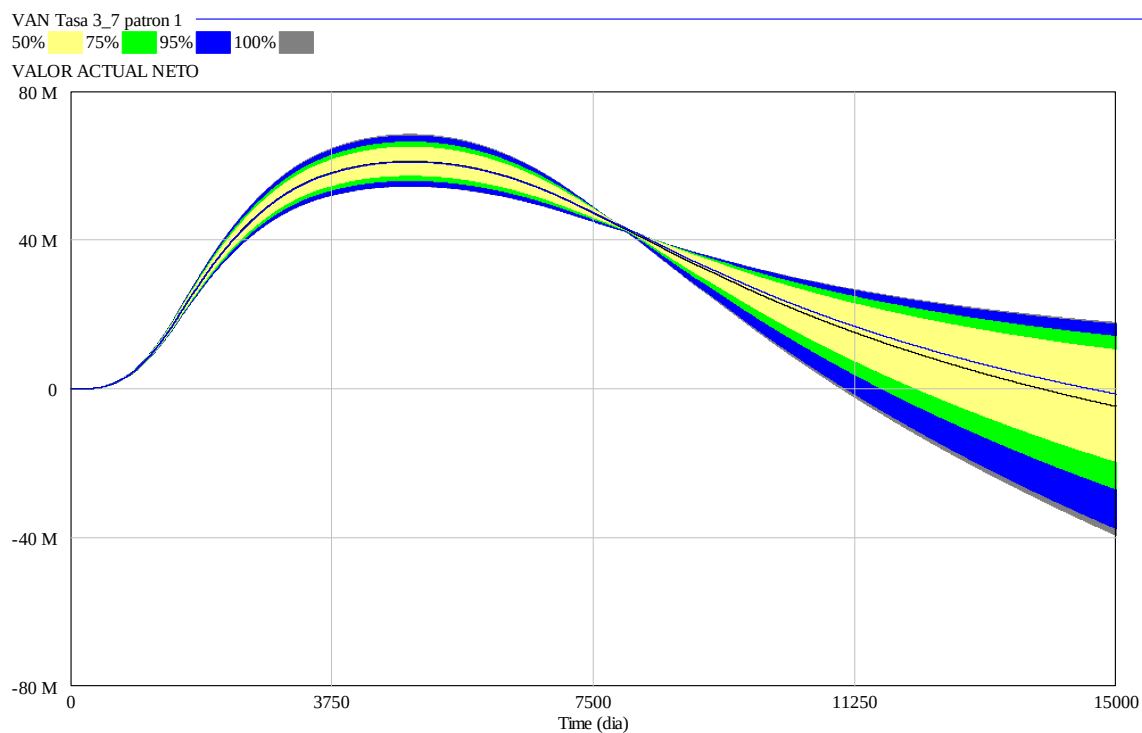
|                                  | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 2 |               |               |               |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                  | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2  | VAN patrón 3  | VAN patrón 4  |
| <b>Valor a fecha liquidación</b> | 33.780.000 €                                                             | -641.870 €    | -62.370.000 € | -67.260.000 € |
| <b>Valor a fin de simulación</b> | -1.408.000 €                                                             | -34.580.000 € | -79.210.000 € | -77.180.000 € |

## 13.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL ESCENARIO 2

### 13.2.1. Escenario 2. Variación de la Tasa de descuento del VAN entre el 3 y el 7%.

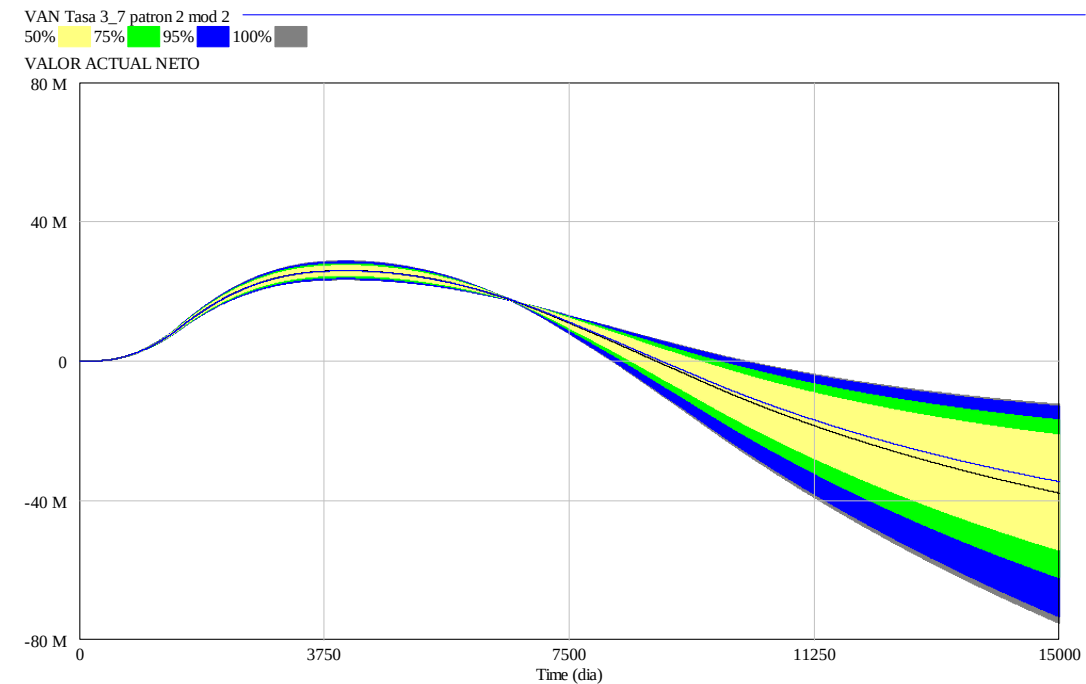
Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación de la **Tasa de descuento anual** entre un 3% y un 7%.

Gráfica 13-15 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 2).

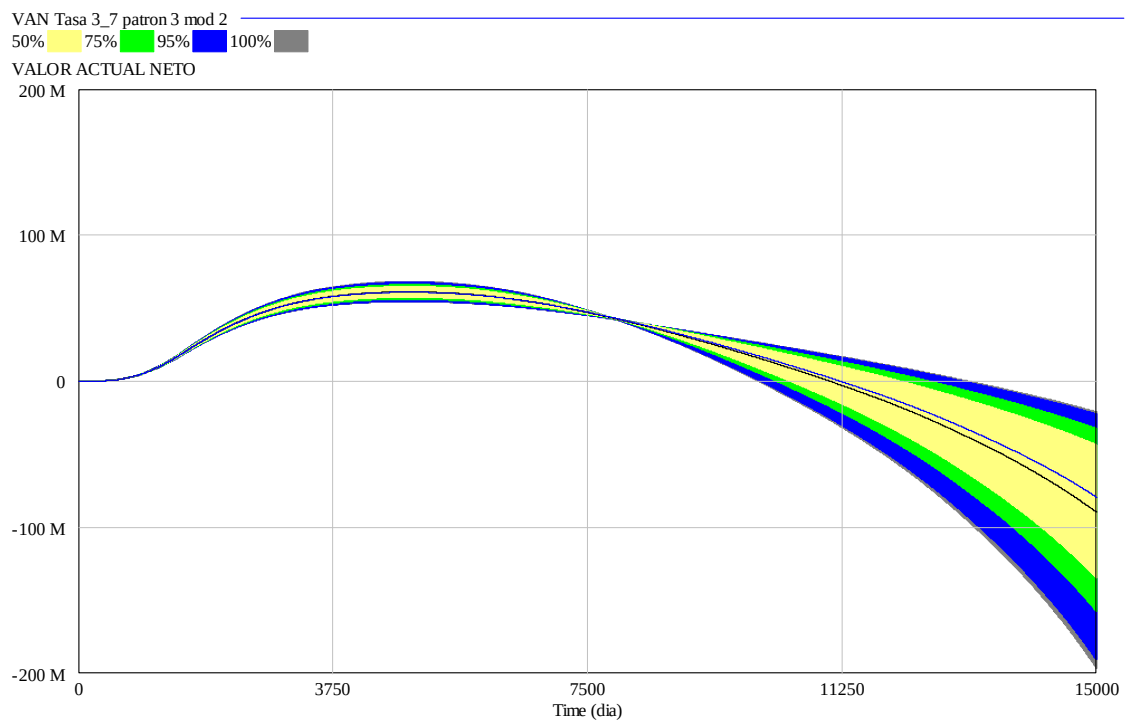




Gráfica 13-16 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 2).



Gráfica 13-17 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 2).



Gráfica 13-18 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 2).

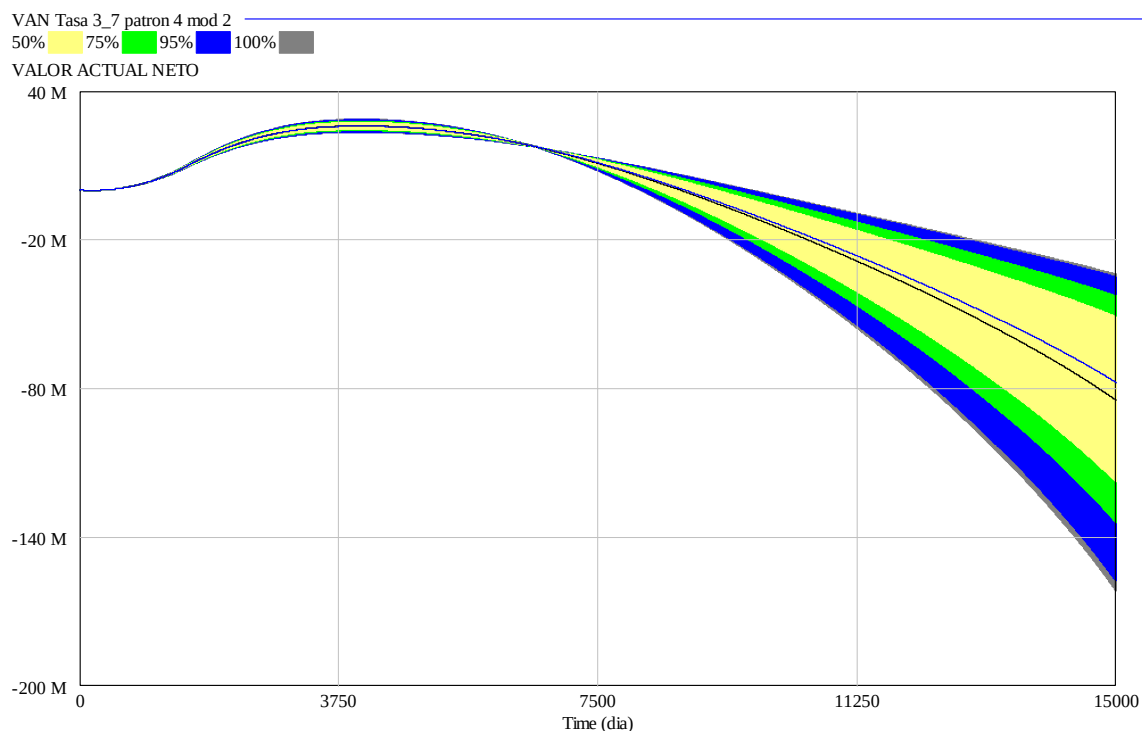


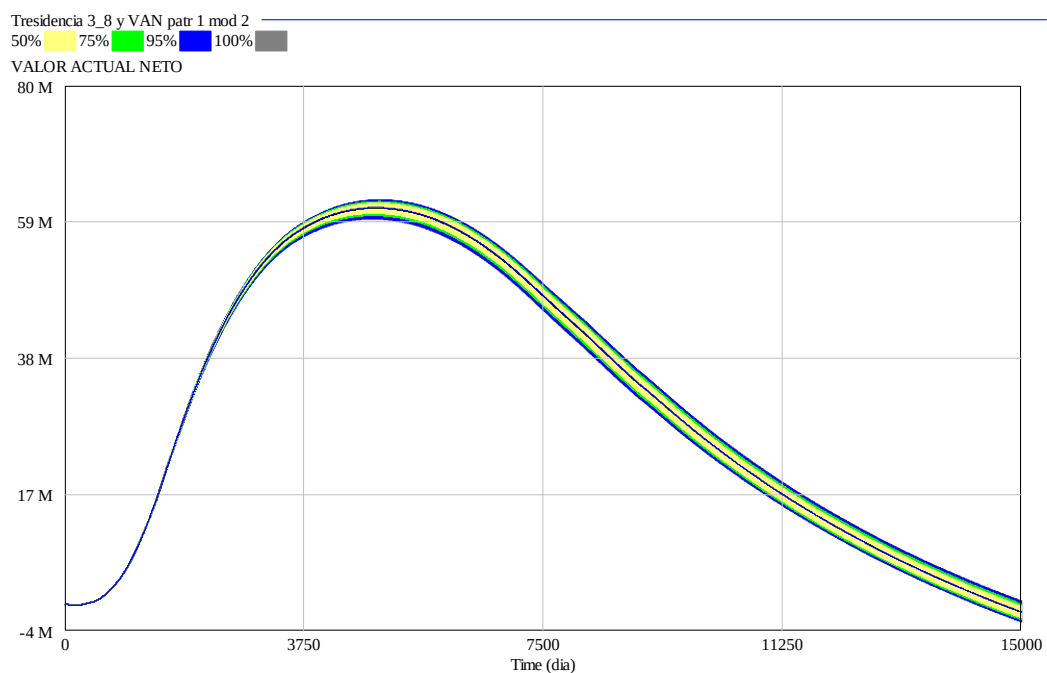
Tabla 13-2 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 2.  
Sensibilidad de Tasa de descuento anual entre el 3% y el 7%

|                                | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 2 |               |                |                |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|----------------|
|                                | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2  | VAN patrón 3   | VAN patrón 4   |
| Valor a fecha liquidación (3%) | 27.780.000 €                                                             | -10.660.000 € | -159.840.000 € | -139.880.000 € |
| Valor a fecha liquidación (7%) | 36.700.000 €                                                             | 5.701.000 €   | -1.342.000 €   | -29.130.000 €  |
| Valor a fin de simulación (3%) | -39.570.000 €                                                            | -75.560.000 € | -197.960.000 € | -162.330.000 € |
| Valor a fin de simulación (7%) | 18.050.000 €                                                             | -12.230.000 € | -20.850.000 €  | -33.520.000 €  |

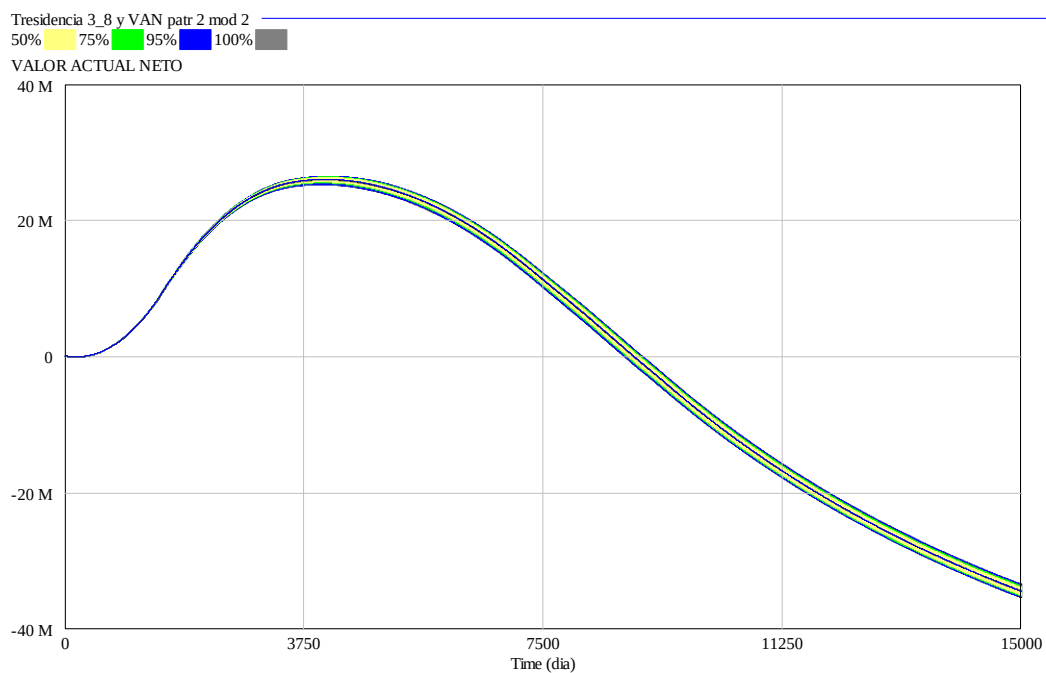
### 13.2.2. Escenario 2. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años.

Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación del **tiempo de residencia** entre 3 y 8 años.

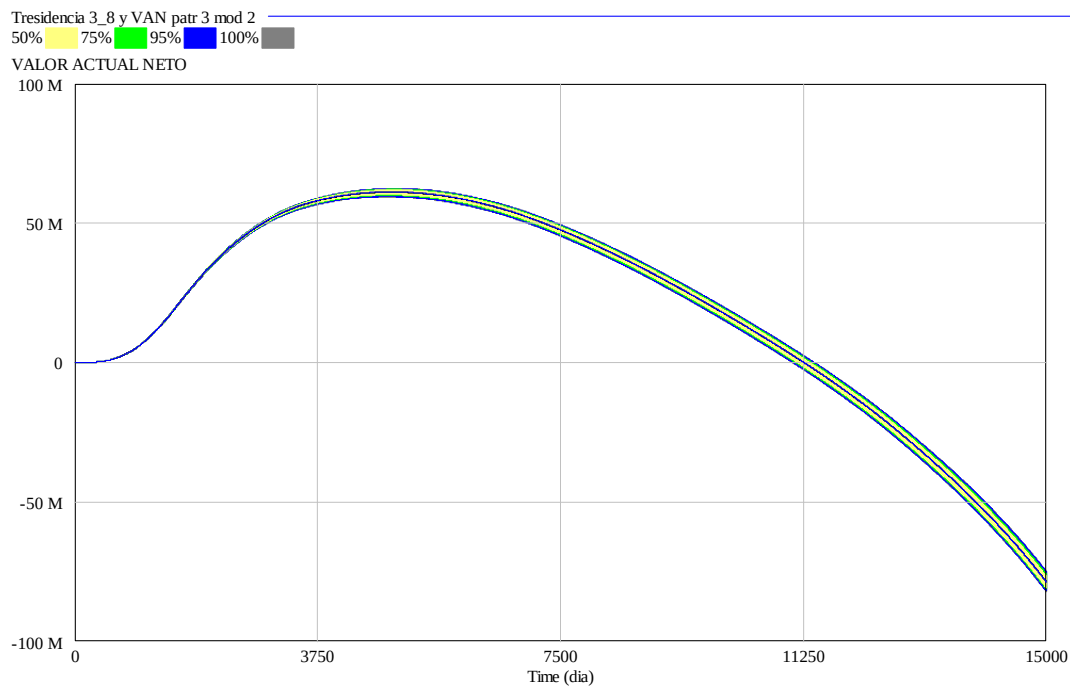
Gráfica 13-19 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 2).



Gráfica 13-20 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 2).



Gráfica 13-21 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 2).



Gráfica 13-22 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 2).

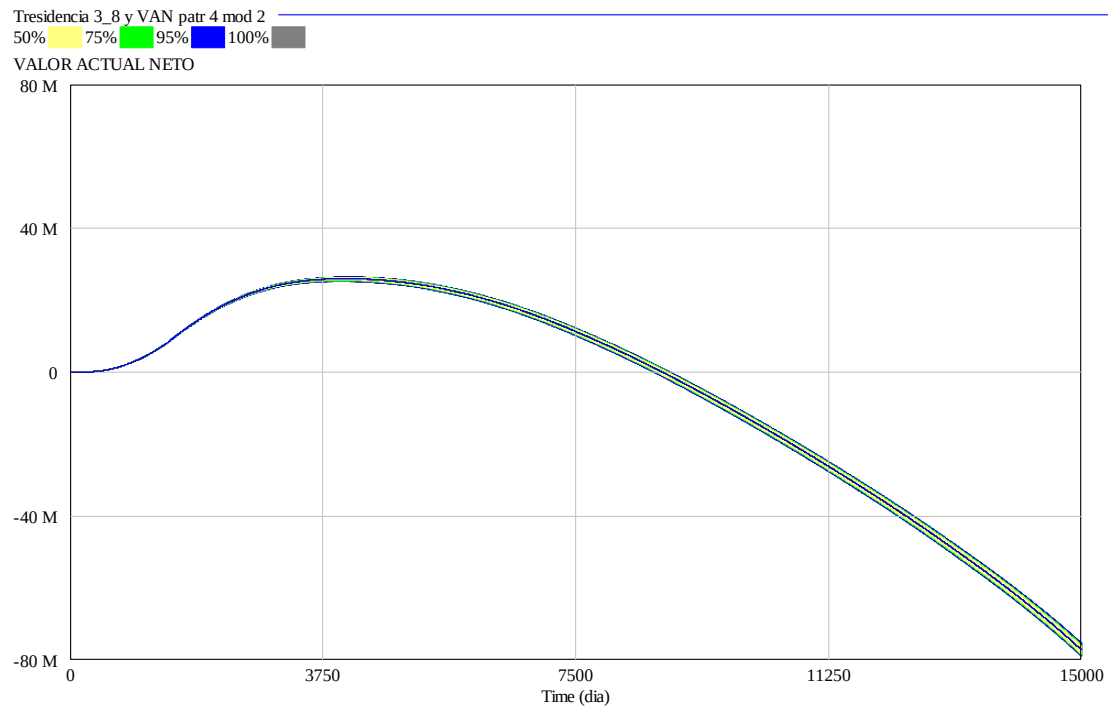


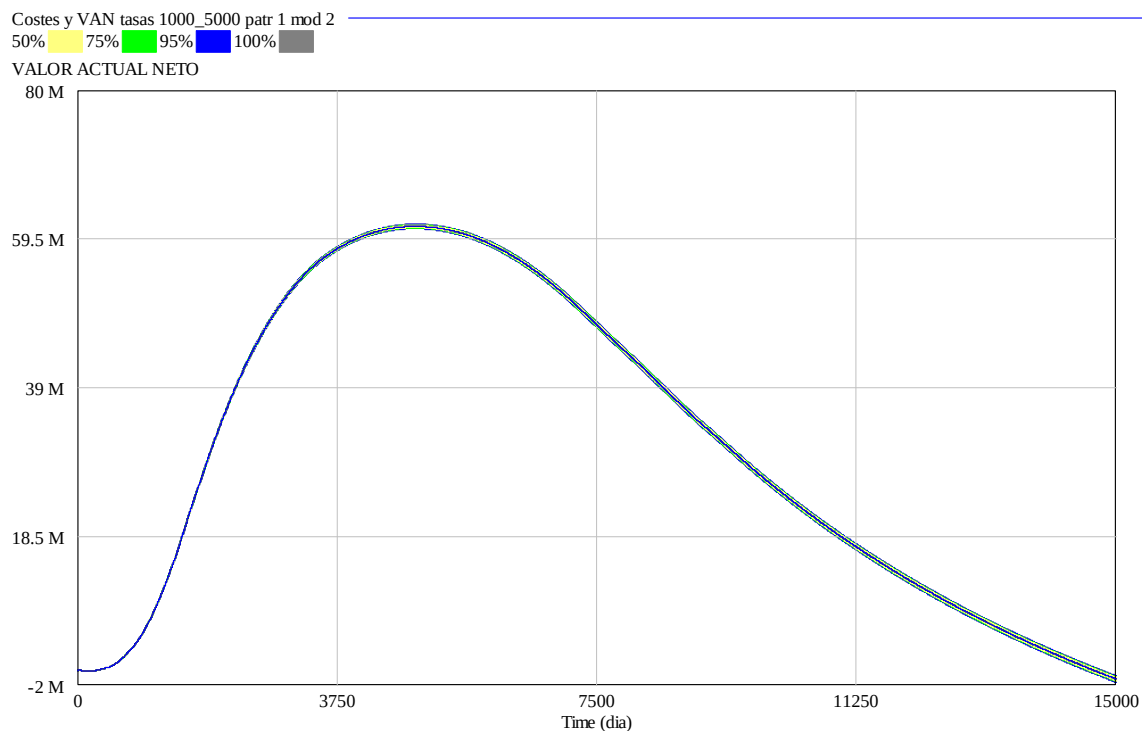
Tabla 13-3 . Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 2. Sensibilidad del Tiempo de residencia entre el 3 y 8 años.

|                                    | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 2 |               |               |               |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                    | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2  | VAN patrón 3  | VAN patrón 4  |
| Valor a fecha liquidación (3 años) | 31.860.000 €                                                             | -1.682.000 €  | -65.130.000 € | -68.980.000 € |
| Valor a fecha liquidación (8 años) | 36.130.000 €                                                             | 628.253 €     | -58.340.000 € | -65.510.000 € |
| Valor a fin de simulación (3 años) | -2.667.000 €                                                             | -35.360.000 € | -82.040.000 € | -78.940.000 € |
| Valor a fin de simulación (8 años) | 598.292 €                                                                | -33.390.000 € | -74.810.000 € | -75.310.000 € |

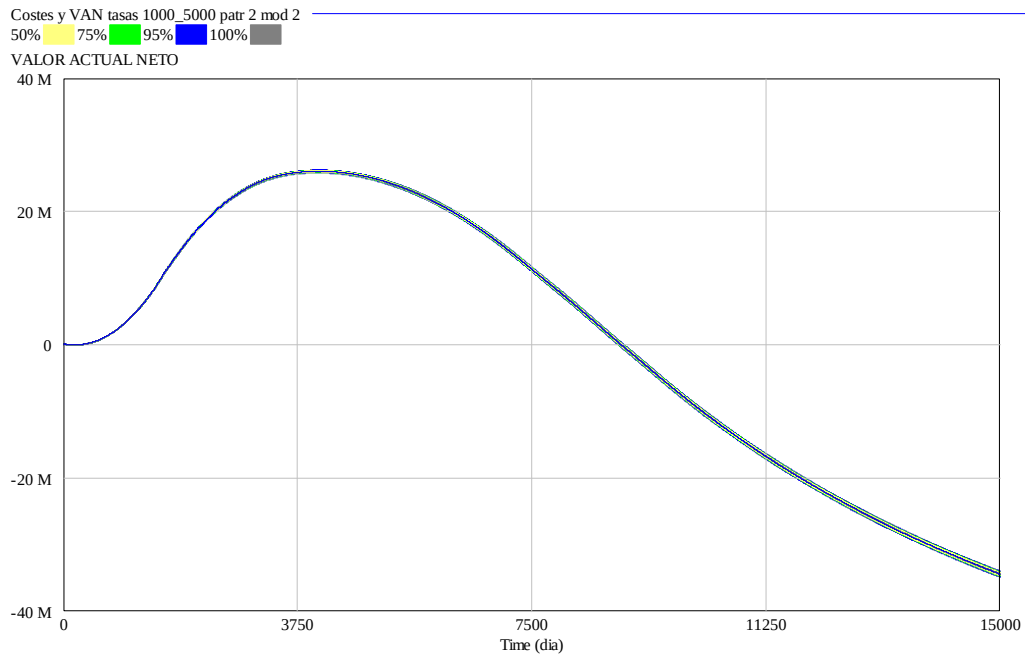
### 13.2.3. Escenario 2. Variación de la tasa impuesta por la legislación entre 1.000 y 5.000 €/ud.

Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación de la **Tasa impuesta por la legislación** entre 1.000 y 5.000 €/ud.

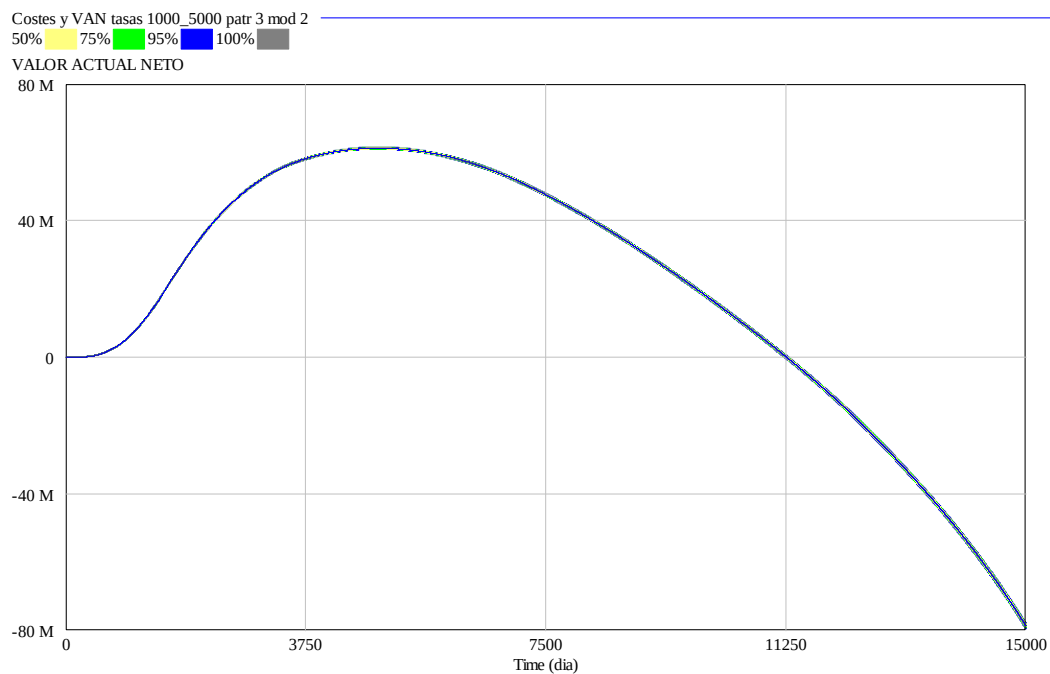
Gráfica 13-23 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 2).



Gráfica 13-24 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 2).



Gráfica 13-25 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 2).



Gráfica 13-26 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 2).

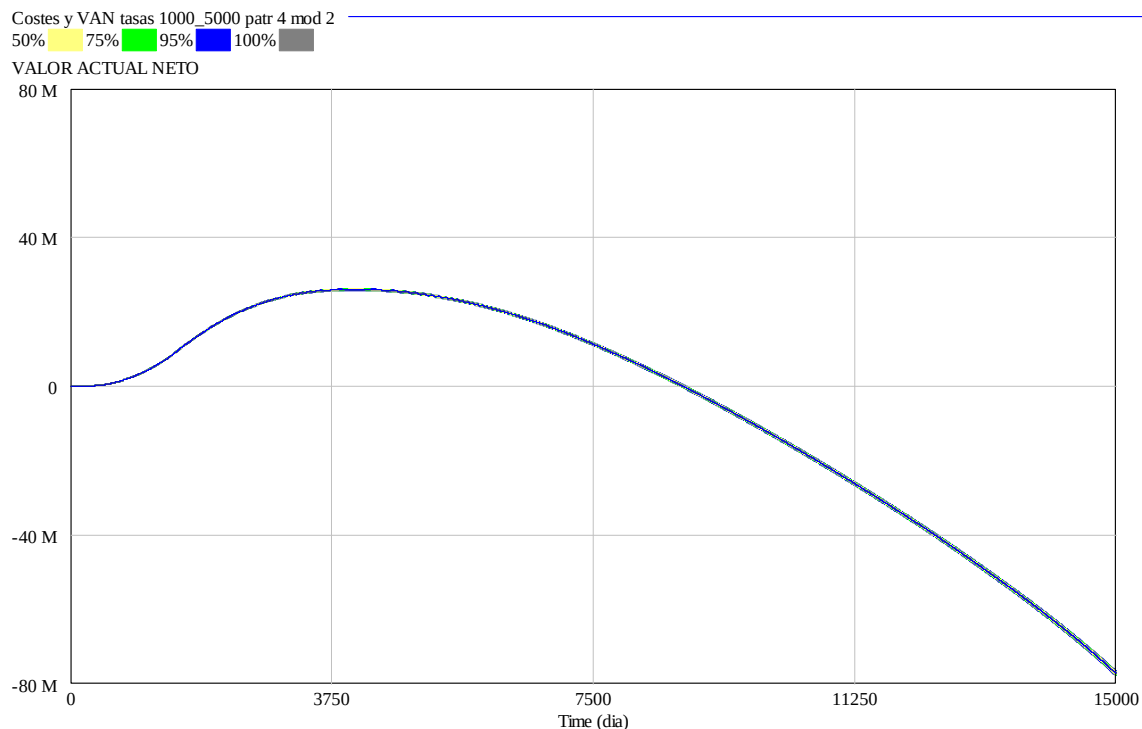


Tabla 13-4 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 2. Sensibilidad de la Tasa impuesta por la legislación entre 1.000 y 5.000 €/ud.

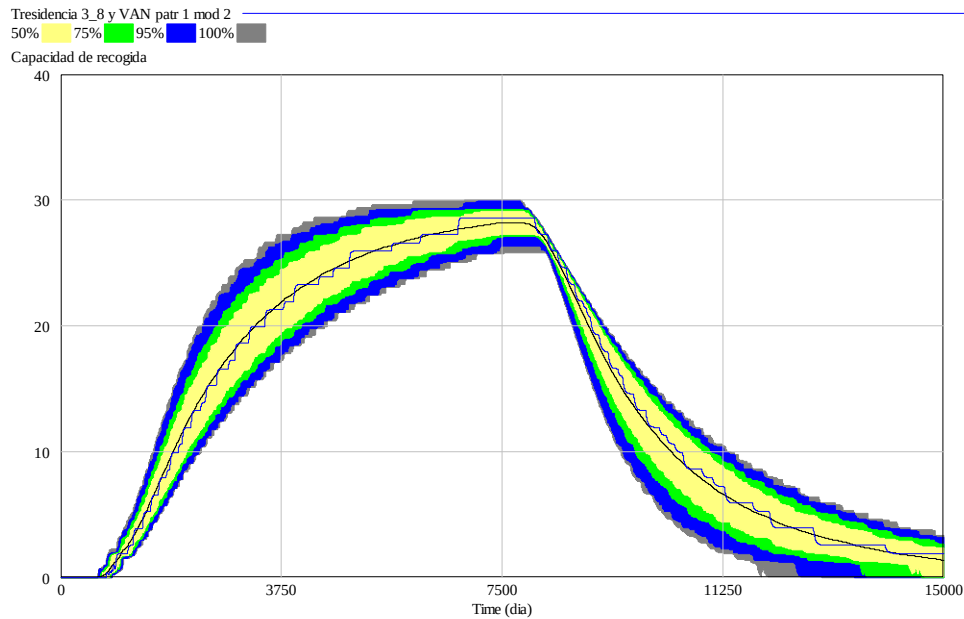
|                                        | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 2 |               |               |               |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                        | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2  | VAN patrón 3  | VAN patrón 4  |
| Valor a fecha liquidación (1.000 €/ud) | 34.560.000 €                                                             | -72.411 €     | -61.570.000 € | -66.650.000 € |
| Valor a fecha liquidación (5.000 €/ud) | 33.730.000 €                                                             | -815.320 €    | -63.180.000 € | -67.870.000 € |
| Valor a fin de simulación (1.000 €/ud) | -678.222 €                                                               | -33.970.000 € | -78.310.000 € | -76.530.000 € |
| Valor a fin de simulación (5.000 €/ud) | -1.600.000 €                                                             | -34.850.000 € | -80.110.000 € | -77.840.000 € |



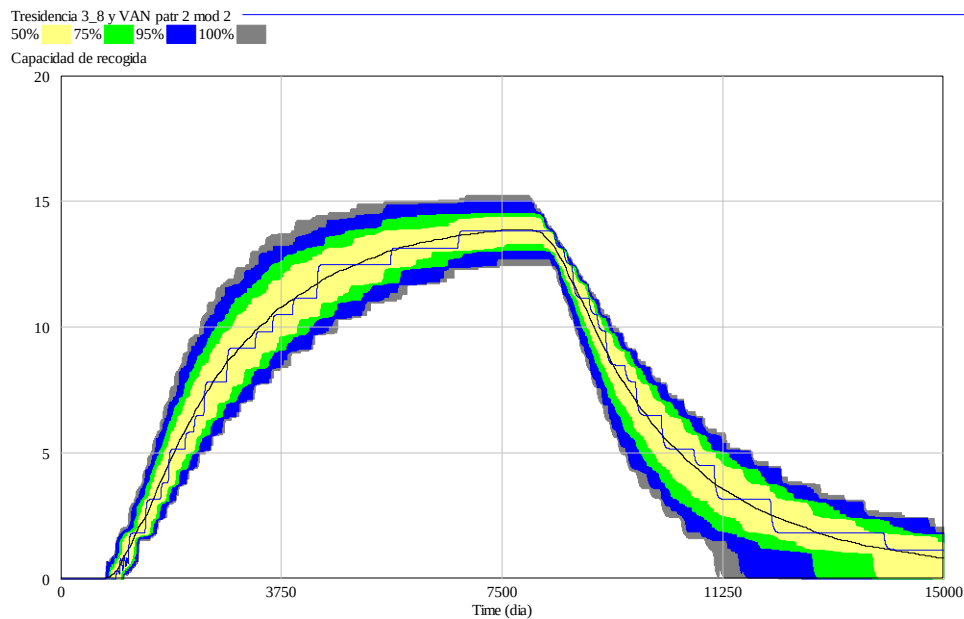
### 13.2.4. Escenario 2.Efectos sobre la capacidad de recogida de la variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años.

Se muestran a continuación los análisis de sensibilidad sobre la **capacidad de recogida** para los diferentes patrones de demanda con la variación del **tiempo de residencia**.

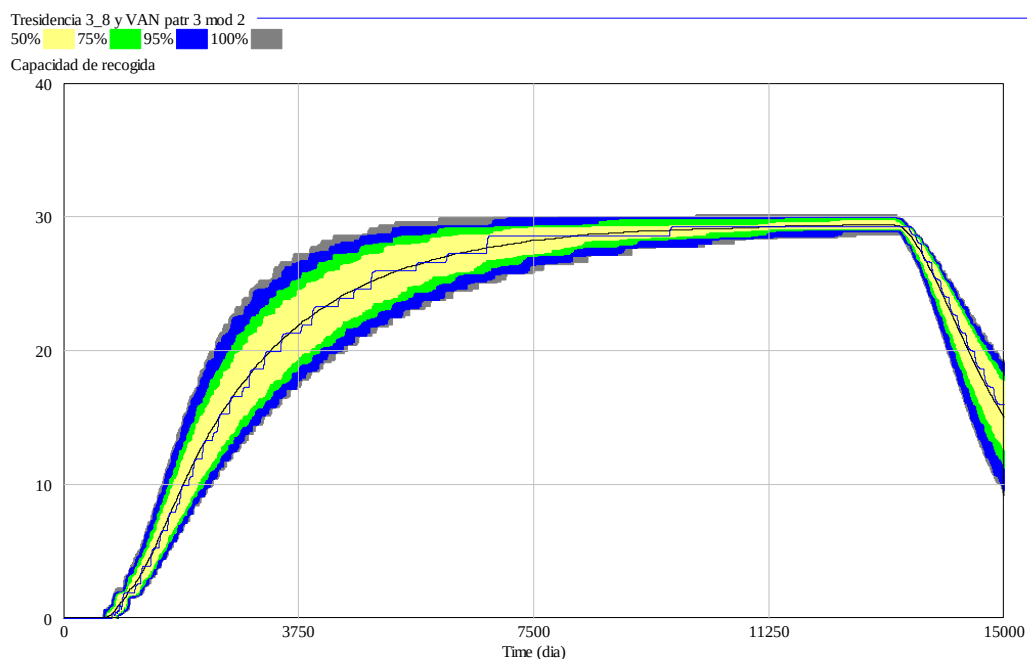
Gráfica 13-27 Análisis de sensibilidad de la capacidad de recogida mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 2).



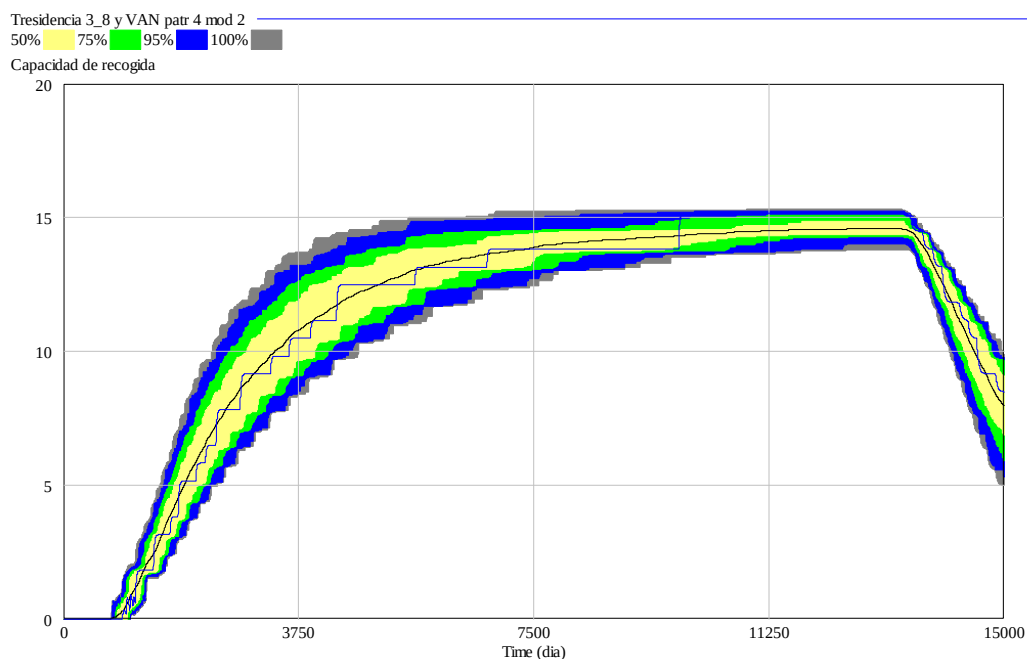
Gráfica 13-28 Análisis de sensibilidad de la capacidad de recogida mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 2).



Gráfica 13-29 Análisis de sensibilidad de la capacidad de recogida mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 2).



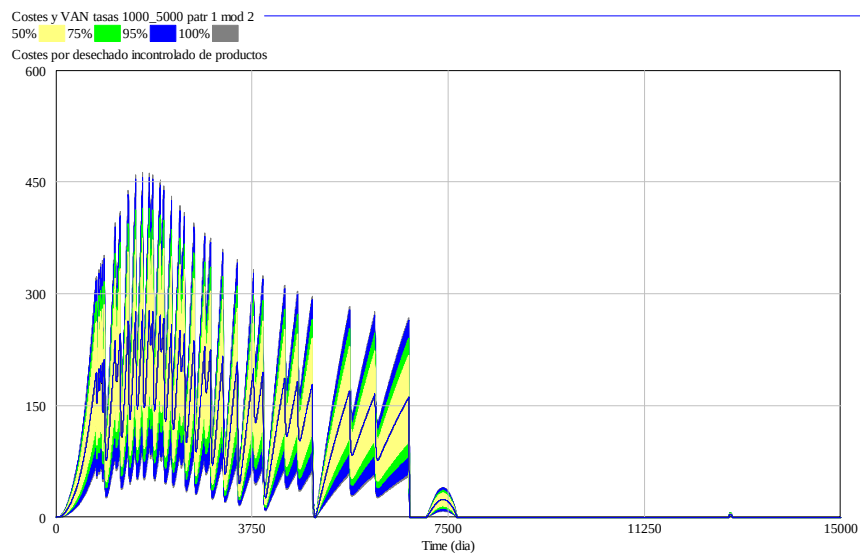
Gráfica 13-30 Análisis de sensibilidad de la capacidad de recogida mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 2).



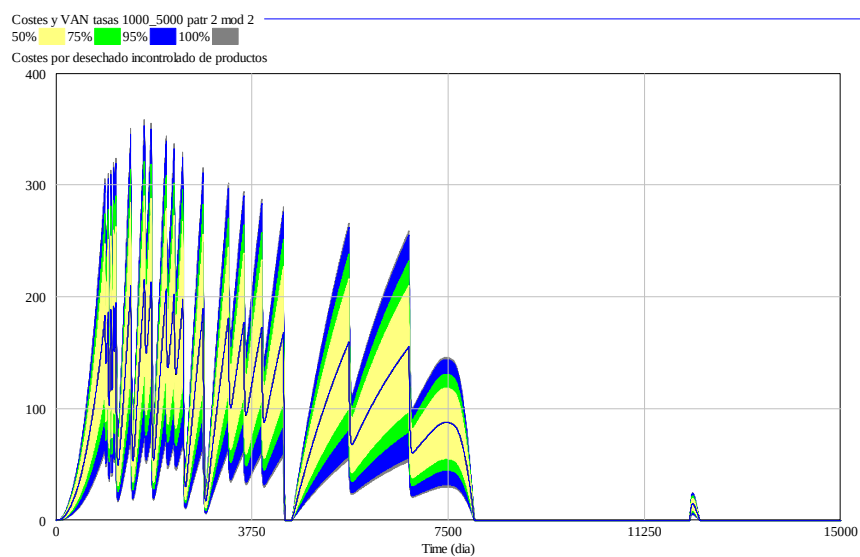
### 13.2.5. Efecto sobre los costes por desecho incontrolado de la variación de la tasa impuesta por la legislación.

Se muestran a continuación los análisis de sensibilidad sobre los **costes por desecho incontrolado** de productos para los diferentes patrones de demanda con la variación de la **tasa impuesta por la legislación**.

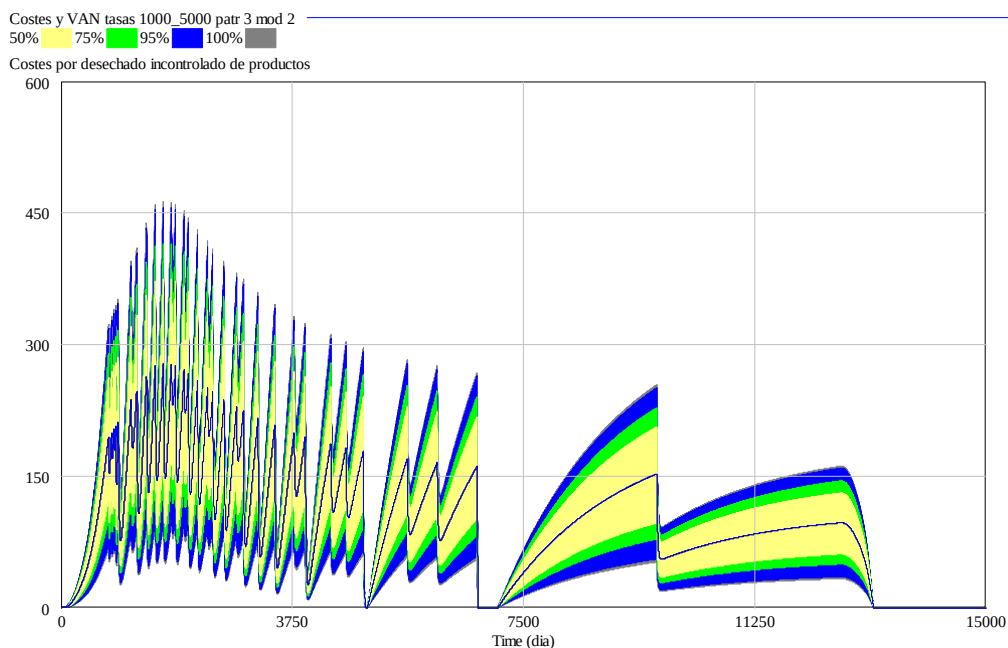
Gráfica 13-31 Análisis de sensibilidad de los costes por desecho incontrolado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 2).



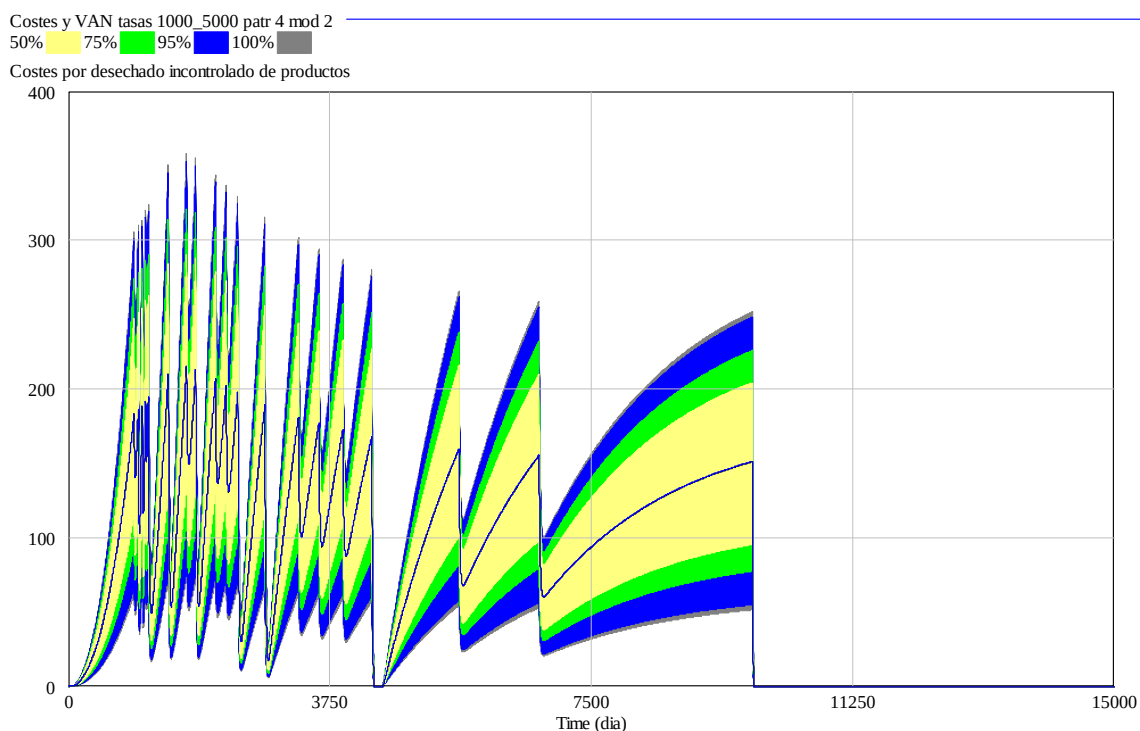
Gráfica 13-32 Análisis de sensibilidad de los costes por desecho incontrolado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 2).



Gráfica 13-33 Análisis de sensibilidad de los costes por desecho incontrolado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 2)



Gráfica 13-34 Análisis de sensibilidad de los costes por desecho incontrolado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 2).



### **13.3. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DEL ESCENARIO 2.**

#### **13.3.1. Conclusiones generales sobre el modelo (Escenario 2)**

Del comportamiento del modelo en este escenario 2 se deduce que:

- a) El modelo genera un crecimiento y reducción de la capacidad de recogida que se ajusta razonablemente a la capacidad de recogida deseada.
- b) El modelo representa los costes asociados al crecimiento o reducción de la capacidad de reprocesado.

#### **13.3.2. Conclusiones específicas sobre el modelo en el caso de estudio (Escenario 2)**

En el caso de estudio de las baterías de litio con los datos manejados se observa lo siguiente:

- a) Con los parámetros de simulación empleados se puede observar que sólo el patrón de demanda 1 produce beneficios mientras que los demás patrones 2, 3 y 4 producen pérdidas. Este hecho difiere de los estudios llevados a cabo por (Georgiadis, Vlachos 2004) en los que un patrón de demanda de mayor duración produce más beneficios. La razón para que esto se produzca reside en el hecho de que en el modelo de (Georgiadis, Vlachos 2004) los precios y costes permanecían constantes durante todo el período de simulación mientras que en el modelo que se ha desarrollado en este trabajo varían según las condiciones indicadas en el apartado 11.2 Datos y parámetros empleados.
- b) Del análisis de sensibilidad realizado sobre la tasa de descuento anual entre un 3% y un 7% se deduce que sólo el patrón de demanda 1 produce beneficios, el patrón de demanda 2 puede producir beneficios o pérdidas y los patrones 3 y 4 producen siempre pérdidas.
- c) Del análisis de sensibilidad realizado sobre el tiempo de residencia entre 3 y 8 años se deduce que también en este caso sólo el patrón de demanda 1 produce beneficios, el patrón de demanda 2 puede producir beneficios o pérdidas y los patrones 3 y 4 producen siempre pérdidas.
- d) Del análisis de sensibilidad realizado sobre la tasa impuesta por la legislación entre 1.000 y 5.000 €/ud se deduce que también en este caso sólo el patrón de demanda 1 produce beneficios, los demás patrones 2,3 y 4 producen siempre pérdidas.

- e) En el modelo propuesto y con los datos manejados se puede concluir que el escenario 2 produce menores beneficios económicos que el escenario 1; es decir, el establecimiento de un sistema de recogida no produce beneficios económicos por sí mismo.
- f) En el modelo propuesto y con los datos manejados se puede concluir que el escenario 2 produce mayores beneficios medioambientales que el escenario 1 al reducirse drásticamente la cantidad de productos que son incontroladamente desechados.

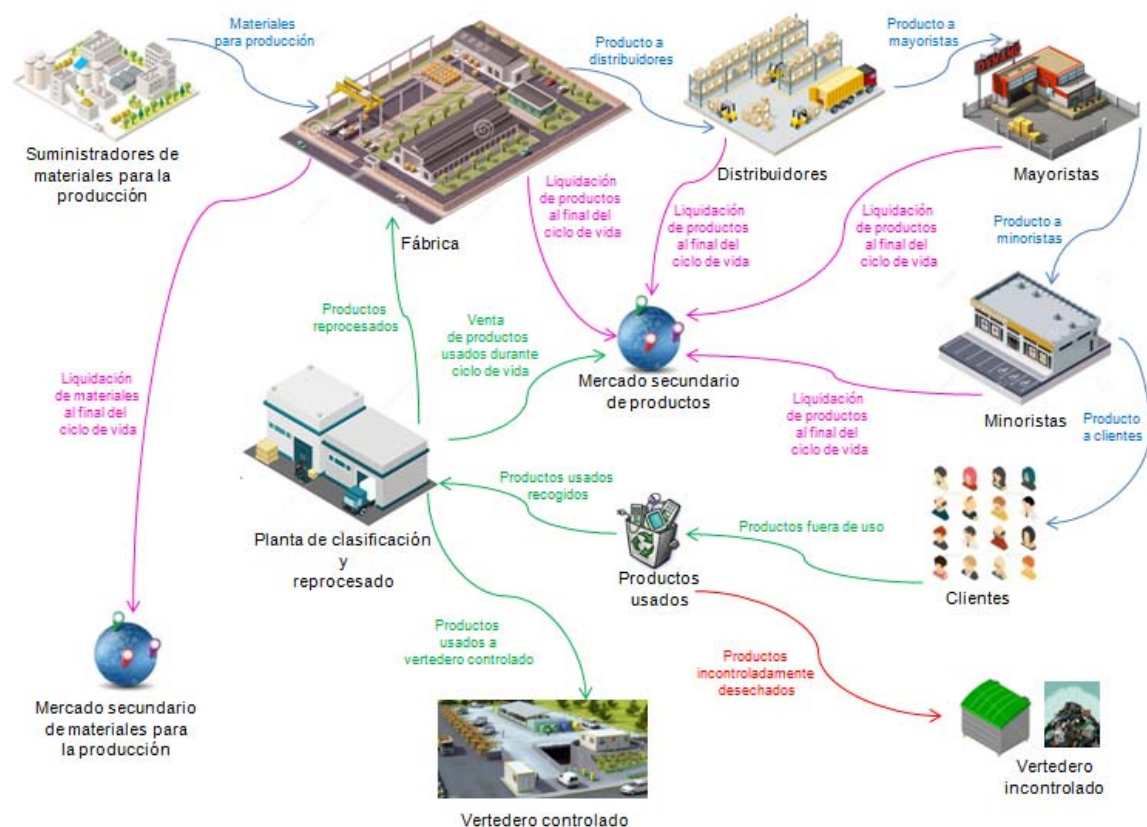


## 14. ESCENARIO 3. CADENA DE SUMINISTRO DIRECTA CON VERTIDO CONTROLADO DE PRODUCTOS USADO Y REPROCESADO

Se configura el modelo para que trabaje la cadena directa, la recogida de productos y el reprocesado.

El esquema general de la cadena de suministro sería la que se recoge en la ilustración 14-1.

Ilustración 14-1 Esquema de red con vertido controlado de productos usados y reprocesado. (Escenario 3)



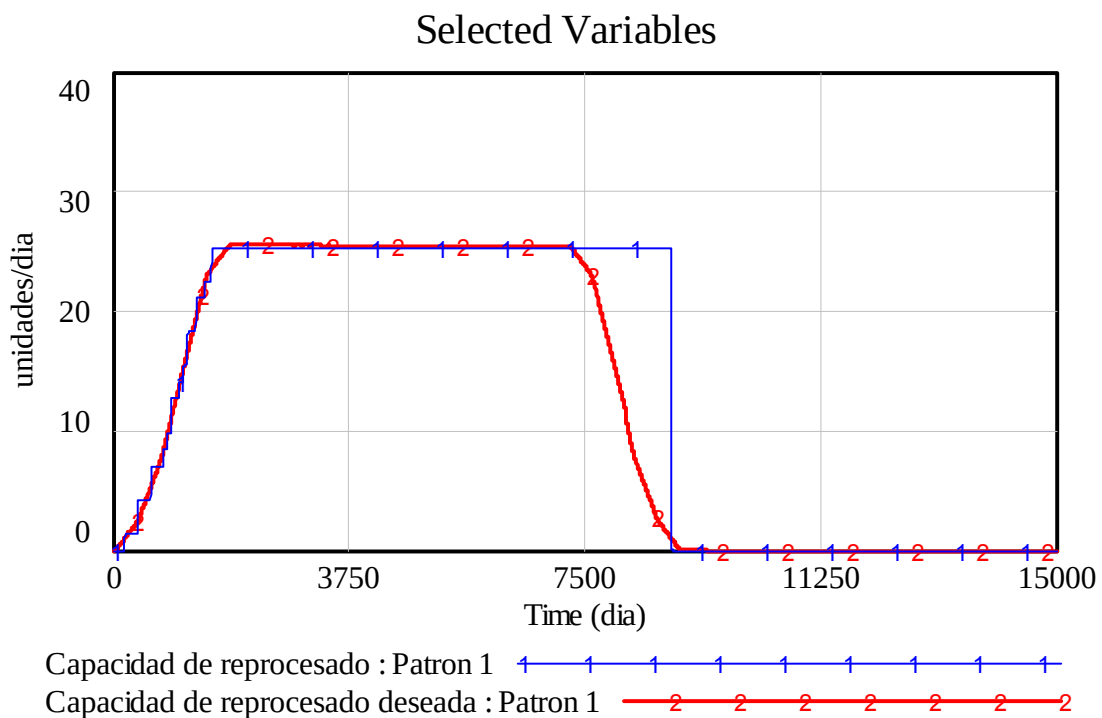


## 14.1. COMPORTAMIENTO DEL MODELO SEGÚN LOS PATRONES DE DEMANDA DEL PRODUCTO. (Escenario 3)

### 14.1.1. Comportamiento con patrón de demanda 1. (Escenario 3)

En este escenario genera una determinada capacidad de reprocesado a partir de los datos de porcentaje de error y demanda del producto.

Gráfica 14-1 Comparativa entre la Capacidad de reprocesado deseada y la Capacidad de reprocesado para el patrón de demanda 1 . (Escenario 3).

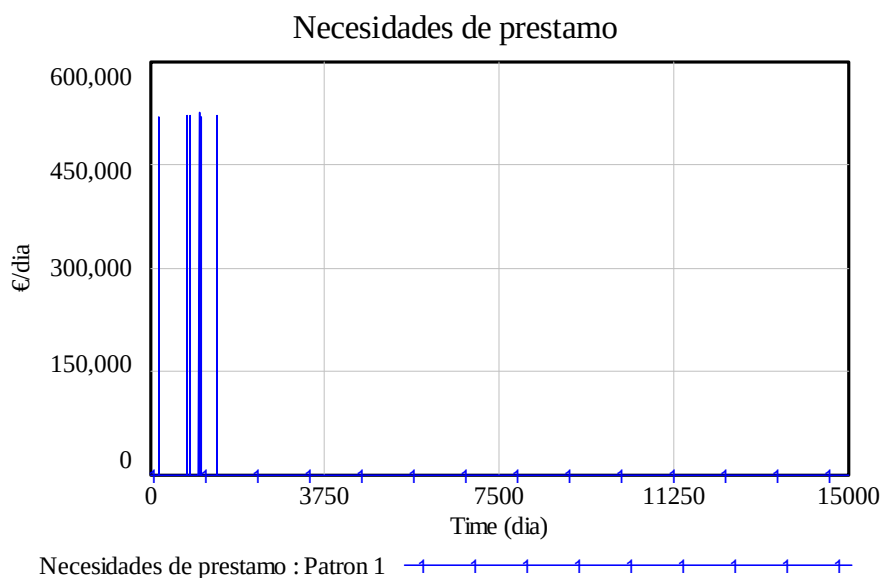


Tal y como sucedía con la generación de la capacidad de recogida, la capacidad de reprocesado va creciendo a saltos discretos hasta alcanzar un valor próximo al nominal que es función de la demanda y del porcentaje de error.

En este caso la inversión a desarrollar es mayor que en el caso de la recogida ya que implica la construcción de una planta de reprocesado y de su equipamiento por lo que se ha previsto que su desinversión no sea gradual sino de una única vez cuando se alcance el período de liquidación.

En la siguiente gráfica (14-2) pueden verse los pulsos de necesidad de inversión que llevan a la construcción de la planta de reprocesado.

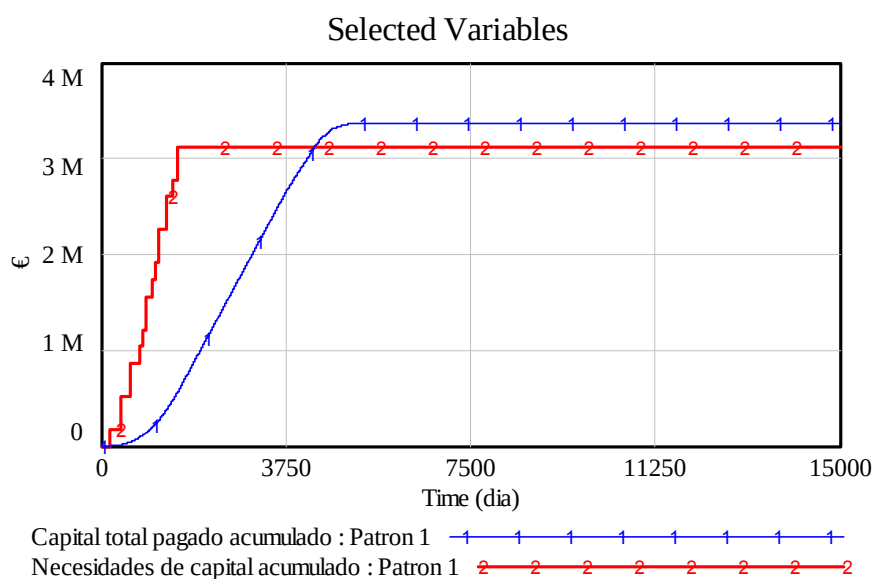
Gráfica 14-2 Pulsos de necesidad de préstamos para financiar la construcción de la planta de clasificación y reprocesado para el patrón de demanda 1. (Escenario 3).



Dado que se hace necesario disponer de bastante capital para abordar la inversión se ha previsto en el modelo la consecución de un préstamo. Esto se consigue con la rutina del préstamo antes comentada.

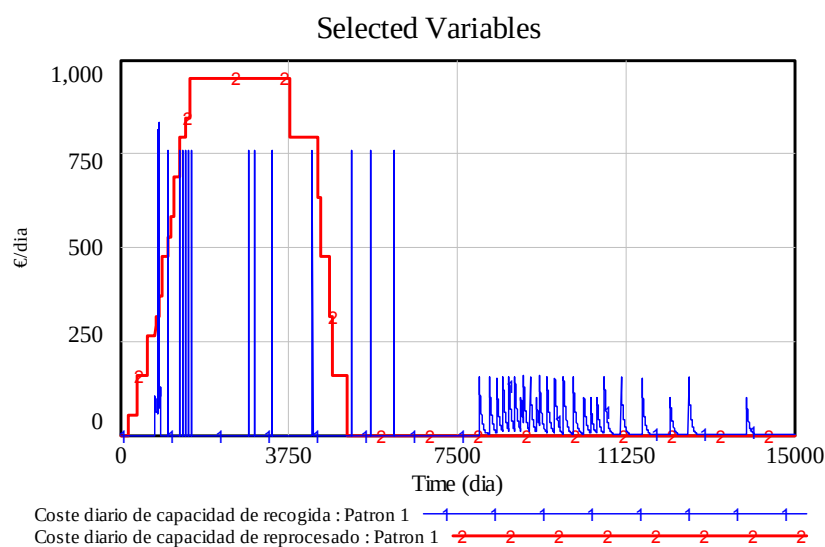
Se muestra en la siguiente figura la comparativa de las **Necesidades de capital acumulado** necesarias frente al **Capital total pagado acumulado**. La diferencia de esos dos valores representa los intereses finalmente pagados por el préstamo.

Gráfica 14-3 Comparativa de las Necesidades de capital acumulado y el Capital total pagado acumulado para financiar la construcción de la planta de clasificación y reprocesado para el patrón de demanda 1.(Escenario 3).



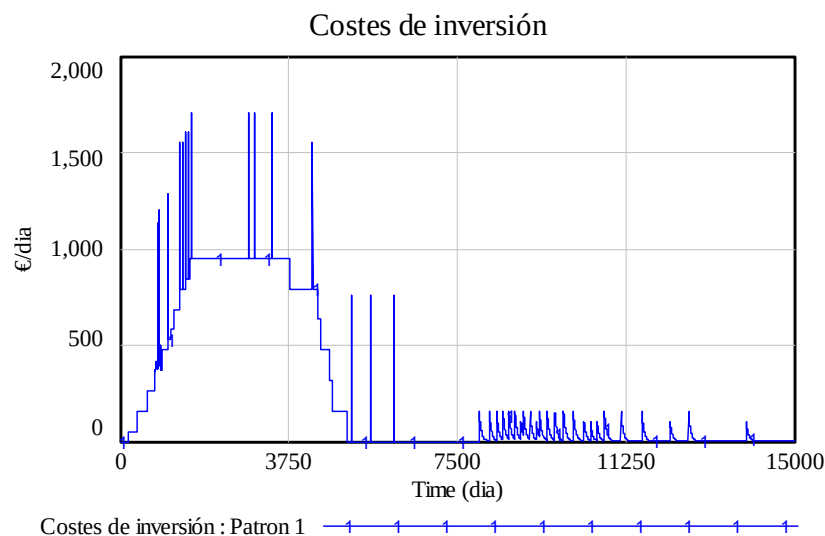
Los Costes de inversión finalmente obtenidos son los que figuran en la siguiente gráfica distinguiendo entre los costes derivados de la inversión en la capacidad de reprocesado, de los costes derivados de las necesidades de recogida. Como puede observarse las inversiones van creciendo a saltos discretos a medida que se necesita más capacidad de reprocesado. El gráfico resultante en rojo representa las cuotas a pagar por el préstamo repercutidas por día, a pesar de que el pago se realice mensualmente.

Gráfica 14-4 Comparativa del Coste diario de capacidad de recogida y el Coste diario de capacidad de reprocesado para el patrón de demanda 1. (Escenario 3).



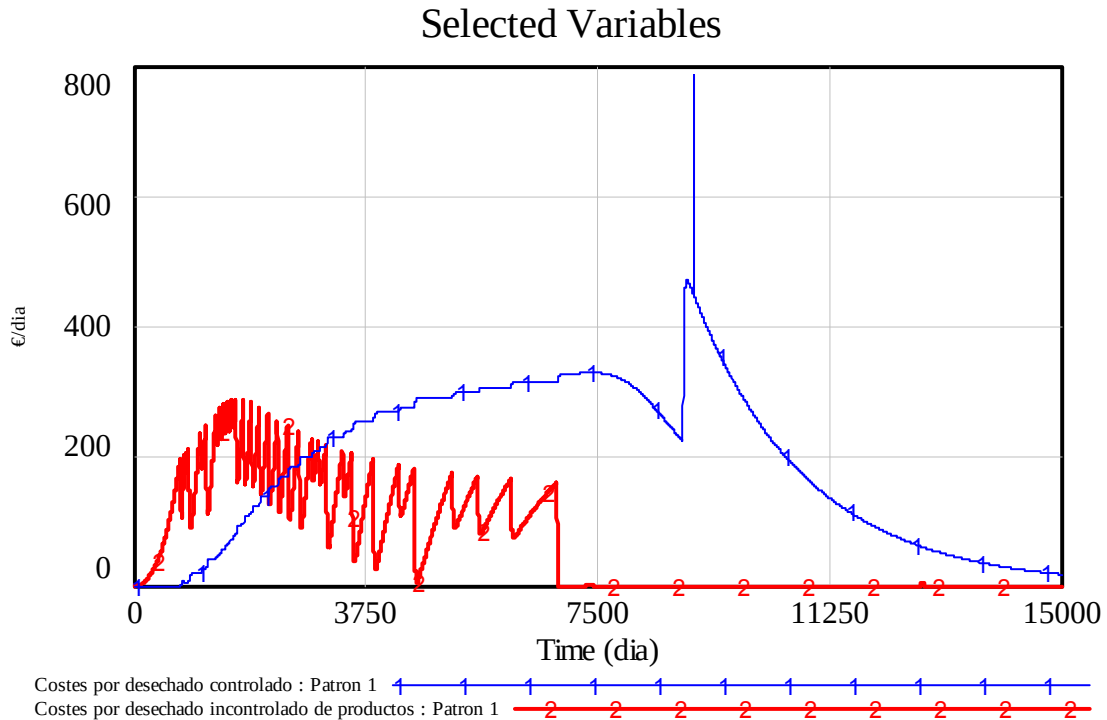
La suma de ambos costes constituye los **Costes de Inversión** que se representan de la figura siguiente.

Gráfica 14-5 Costes de inversión para el patrón de demanda 1 . (Escenario 3).



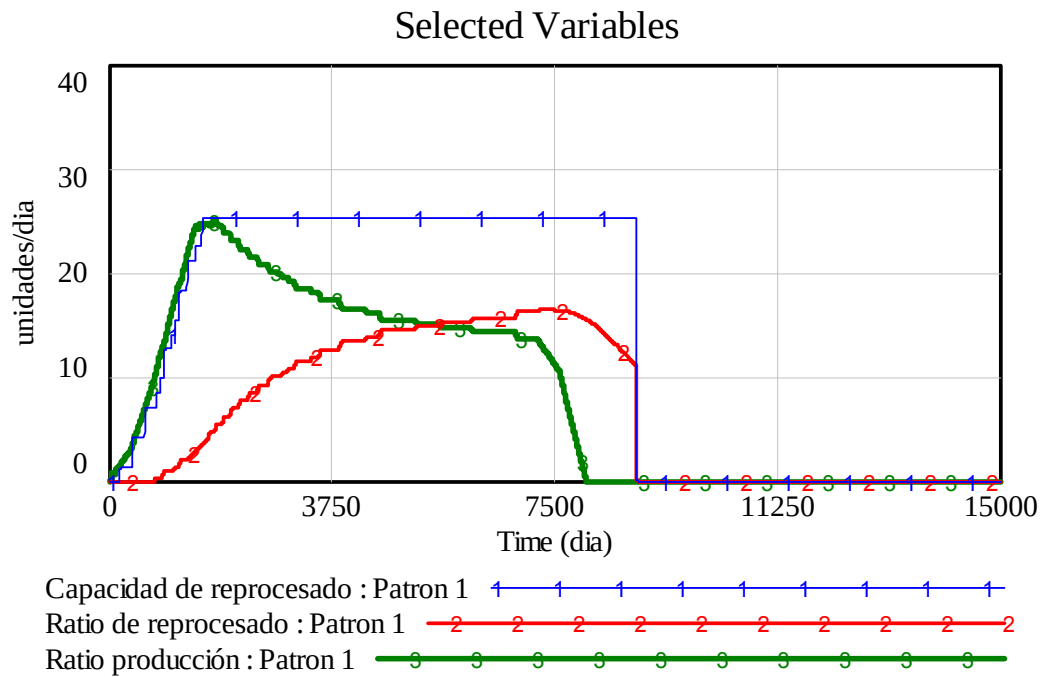
Los productos no reprocesados se envían a vertedero controlado, los **Costes por desechado controlado** se comparan en la siguiente gráfica con los **Costes por desechado incontrolado**.

Gráfica 14-6 Comparativa de los Costes por desechado controlado y los Costes por desechado incontrolado para el patrón de demanda 1 . (Escenario 3).

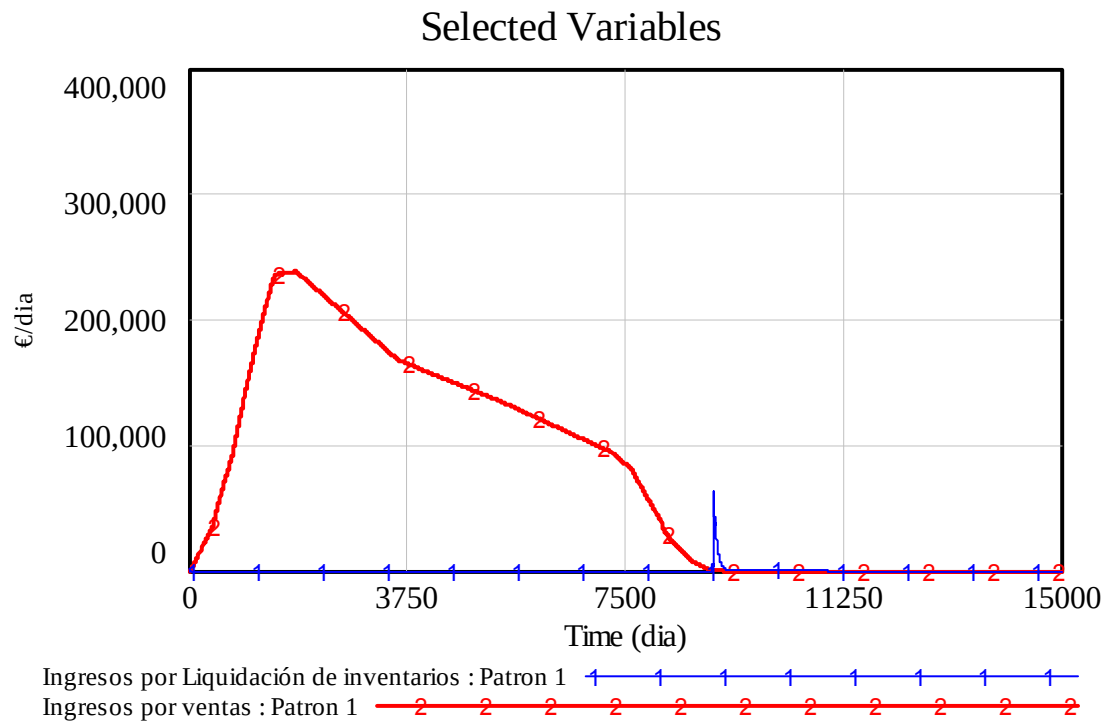


A medida que se va disponiendo de capacidad de reprocesado comienzan a ingresar en la cadena directa productos a través del Ratio de reprocesado (Ver gráfica 14-7). Obsérvese cómo a partir de un determinado valor de demanda la producción es mantenida exclusivamente por la planta de reprocesado, liberando a la planta matriz de su función con lo que puede dedicarse a producir otros productos o preparar nuevos ingresos en el mercado. Una vez que la demanda se considera insuficiente para mantener la actividad se reduce la capacidad de reprocesado por desmantelamiento y venta de las instalaciones y con ella puede verse cómo se reduce el ratio de reprocesado.

Gráfica 14-7 Comparativa de la Capacidad de reprocesado, el Ratio de reprocesado y el Ratio de producción para el patrón de demanda 1. (Escenario 3).



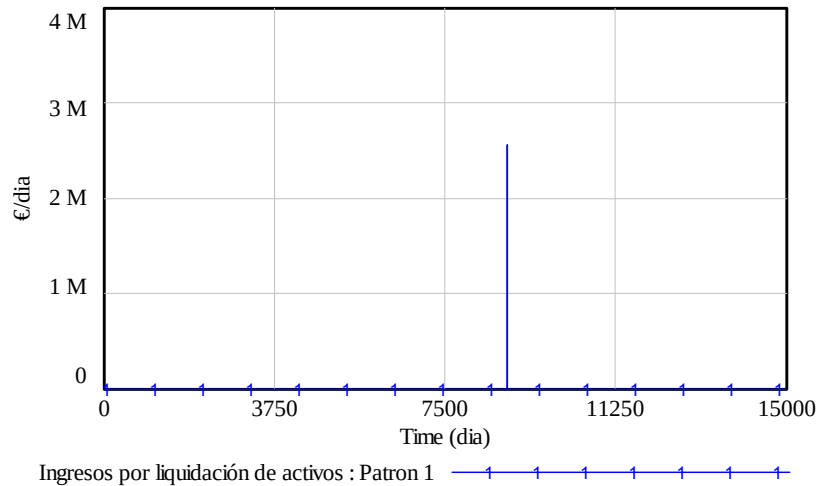
Gráfica 14-8 Comparativa de los Ingresos por Liquidación de inventarios y los Ingresos por Ventas para el patrón de demanda 1. (Escenario 3).



En este caso se ha supuesto que los activos de la planta de reprocesado se venden una vez finalizada la actividad. Esta opción está disponible en el modelo y

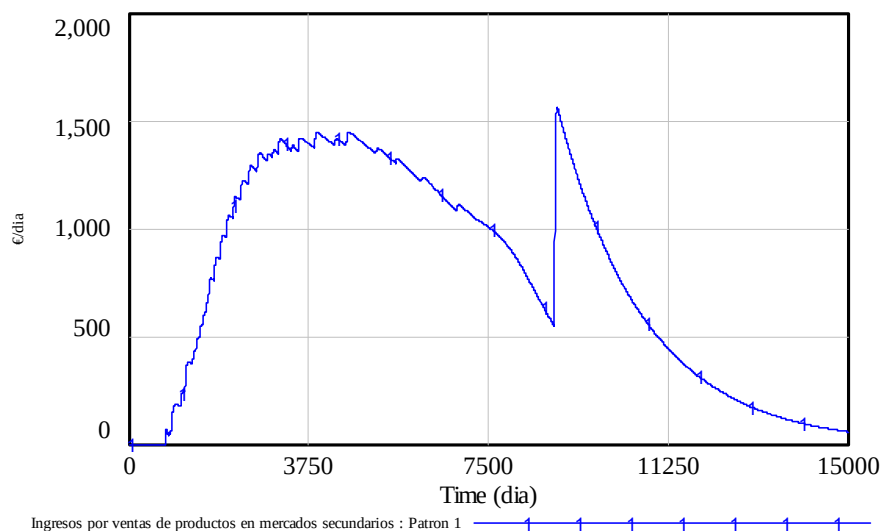
puede optarse por ella o no. Como puede verse esta venta de activos aparece como un pulso.

Gráfica 14-9 Ingresos por Liquidación de activos para el patrón de demanda 1. (Escenario 3).

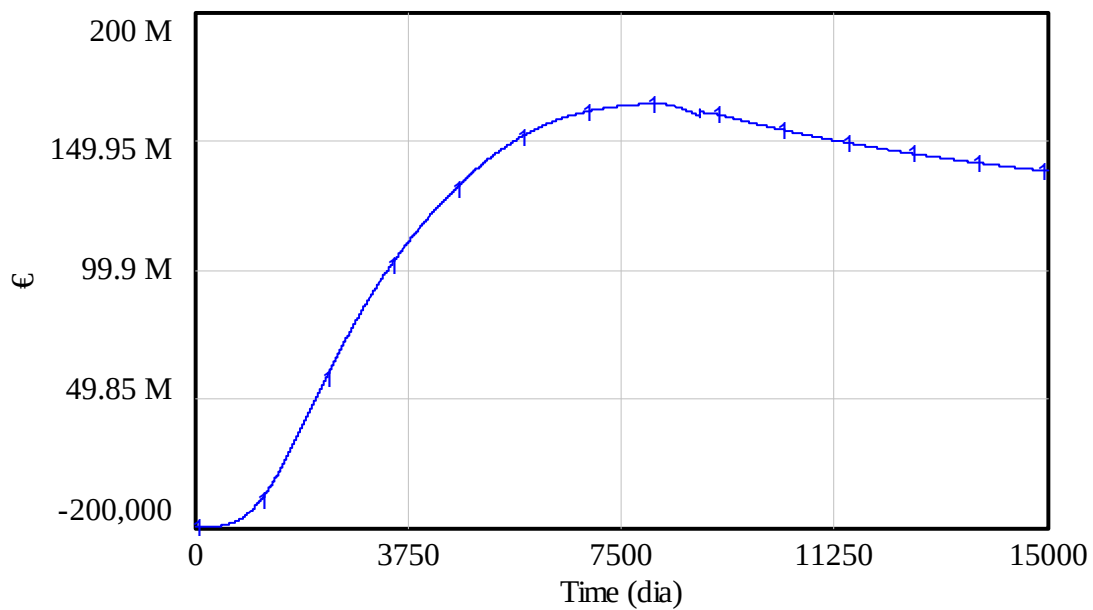


Se ha considerado también que los productos usados que estén en buenas condiciones se vendan en mercados secundarios por un precio reducido. En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento de los ingresos por la venta de dichos productos. El repunte final que aparece es fruto de la caída de demanda de la cadena directa.

Gráfica 14-10 Ingresos por ventas de productos en mercados secundarios para el patrón de demanda 1. (Escenario 3).



Gráfica 14-11 Valor Actual Neto para el patrón de demanda 1. (Escenario 3).



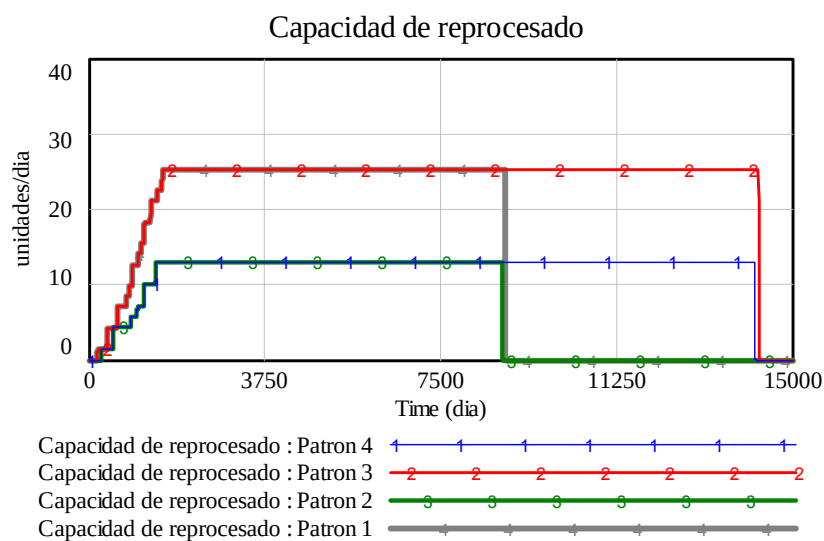
VALOR ACTUAL NETO : Patron 1

Nótese la pequeña perturbación producida por la liquidación de activos que aparece como un repunte tras el máximo del VAN.

#### 14.1.2- comportamiento con los distintos patrones de demanda. (Escenario 3)

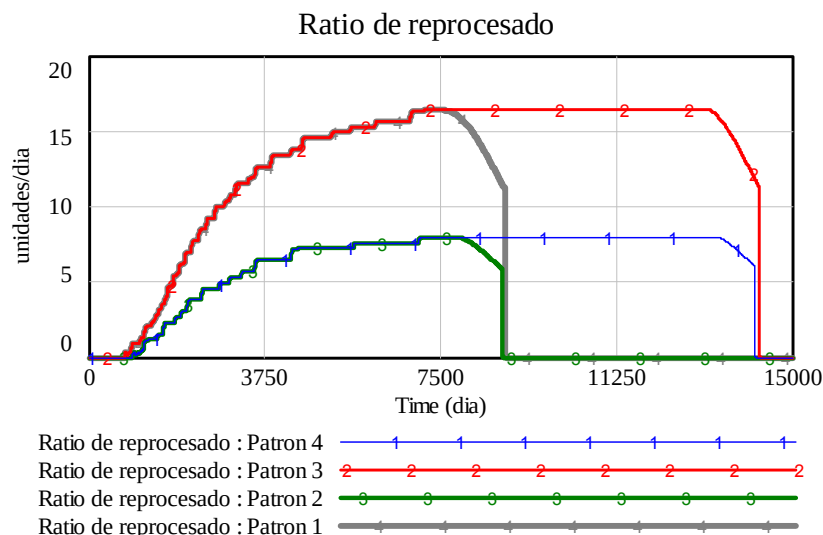
Las capacidades de reprocesado según los distintos patrones de demanda son las siguientes:

Gráfica 14-12 Capacidad de reprocesado para los distintos patrones de demanda. (Escenario 3).



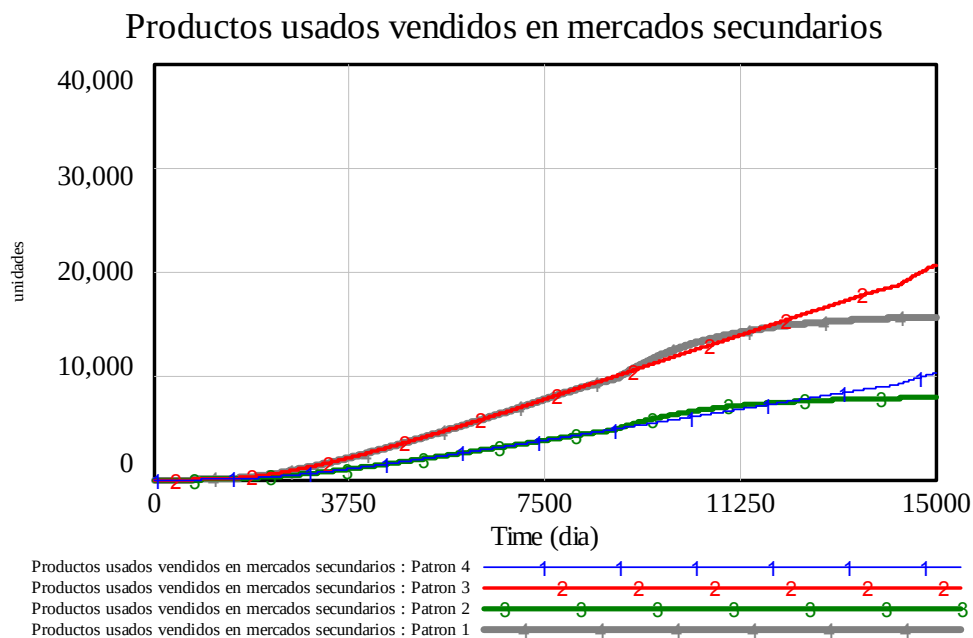
Los ratios de reprocesado obtenidos con dichas capacidades son los que aparecen en la gráfica 14-13.

Gráfica 14-13 Ratio de reprocesado para los distintos patrones de demanda. (Escenario 3).



Los productos vendidos a los mercados secundarios son los siguientes según cada patrón de demanda.

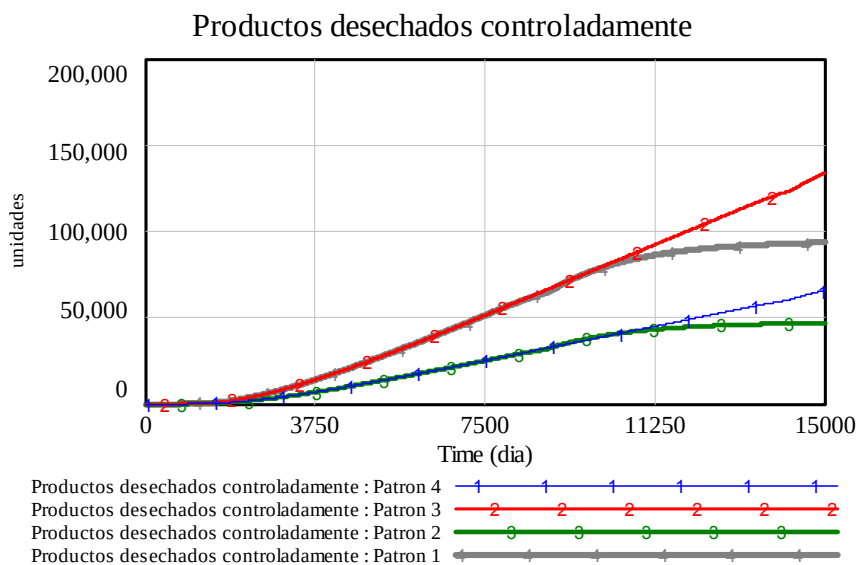
Gráfica 14-14 Productos usados vendidos en mercados secundarios para los distintos patrones de demanda. Valores acumulados. (Escenario 3).



De igual forma los productos desechados controladamente según cada patrón de demanda son los siguientes.

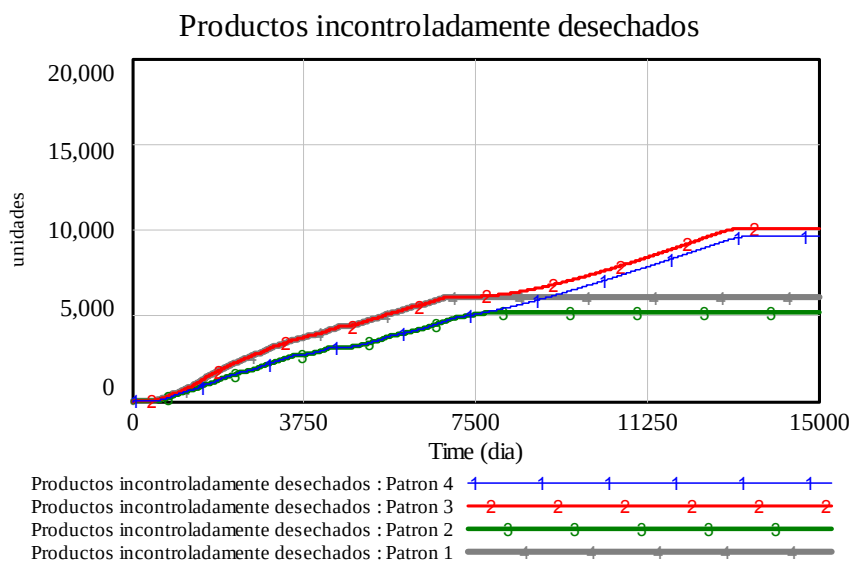


Gráfica 14-15 Productos desechados controladamente para los distintos patrones de demanda. Valores acumulados. (Escenario 3).



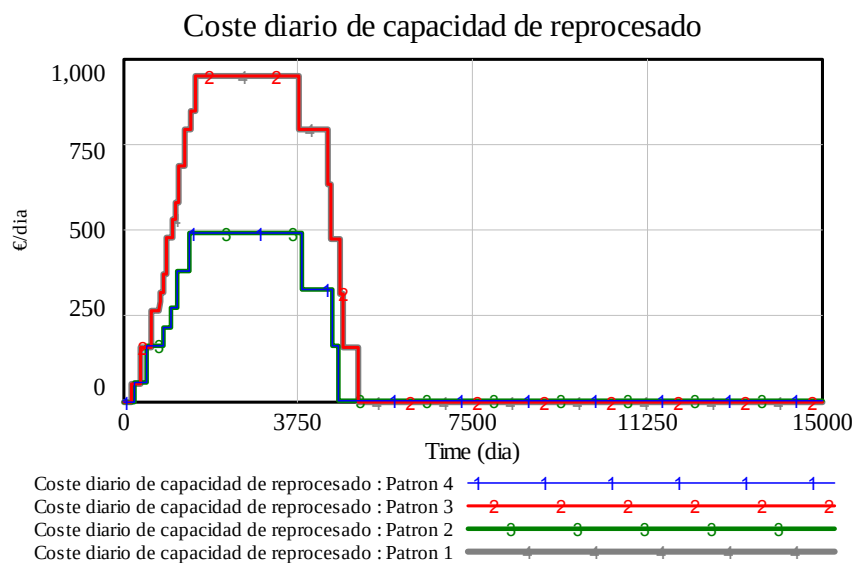
Tal y como sucedía en el escenario 2 puede verse cómo los productos incontroladamente desechados se han reducido en un orden de factor cercano a 10.

Gráfica 14-16 Productos incontroladamente desechados para los distintos patrones de demanda. Valores acumulados. (Escenario 3).



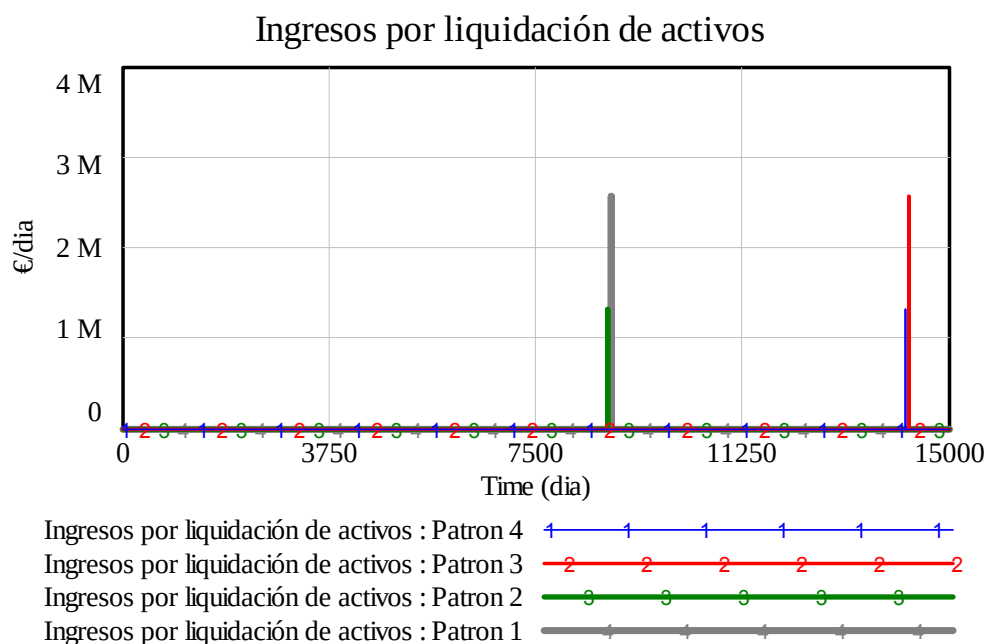
En la siguiente gráfica se muestran los Costes diarios de capacidad de reprocesado para cada patrón de demanda. Como era de esperar para los patrones 1 y 3 son iguales y para los patrones 2 y 4 también. Esto se debe a que estos costes son función de la demanda pico necesaria y en ambas parejas de patrones de demanda esto se cumple.

Gráfica 14-17 Costes diarios de capacidad de reprocesado para los distintos patrones de demanda. (Escenario 3).

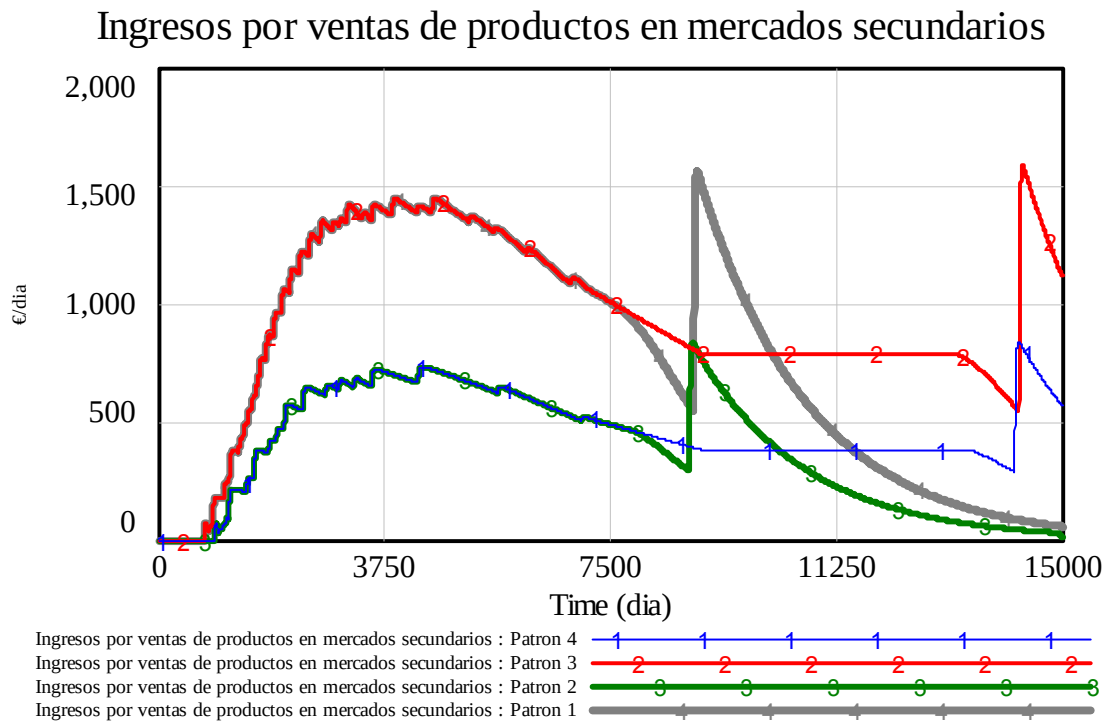


Los ingresos por la liquidación de los activos de la planta de reprocesado son los siguientes:

Gráfica 14-18 Ingresos por liquidación de activos para los distintos patrones de demanda. (Escenario 3).



Gráfica 14-19 Ingresos por ventas de productos en mercados secundarios para los distintos patrones de demanda. (Escenario 3).



Gráfica 14-20 VAN para los distintos patrones de demanda. (Escenario 3).

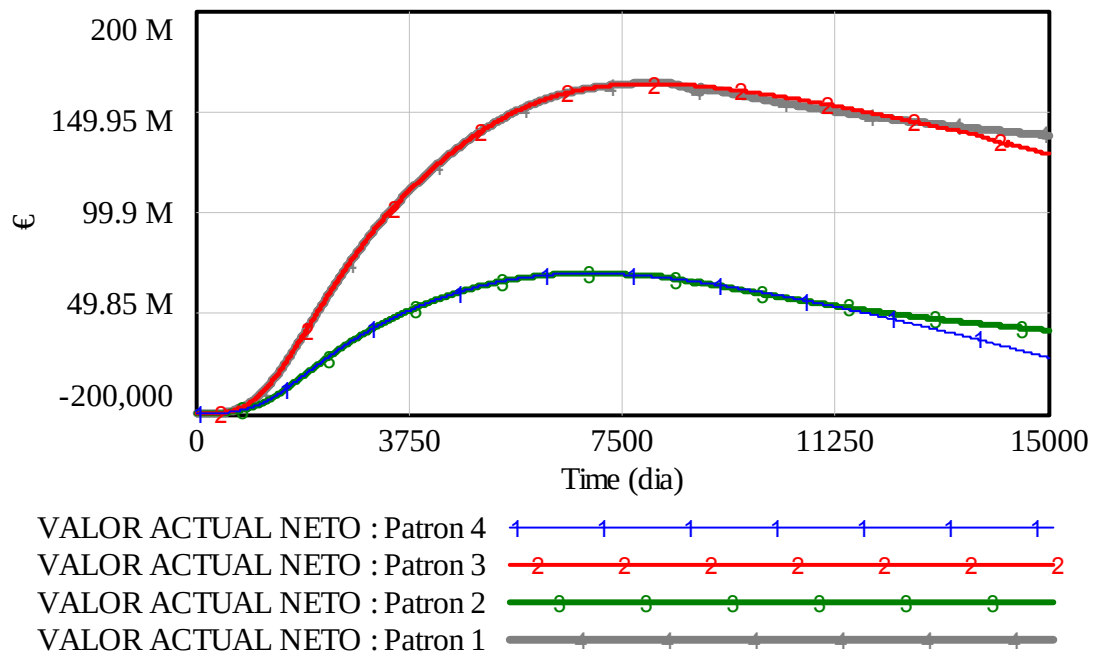


Tabla 14-1 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 3

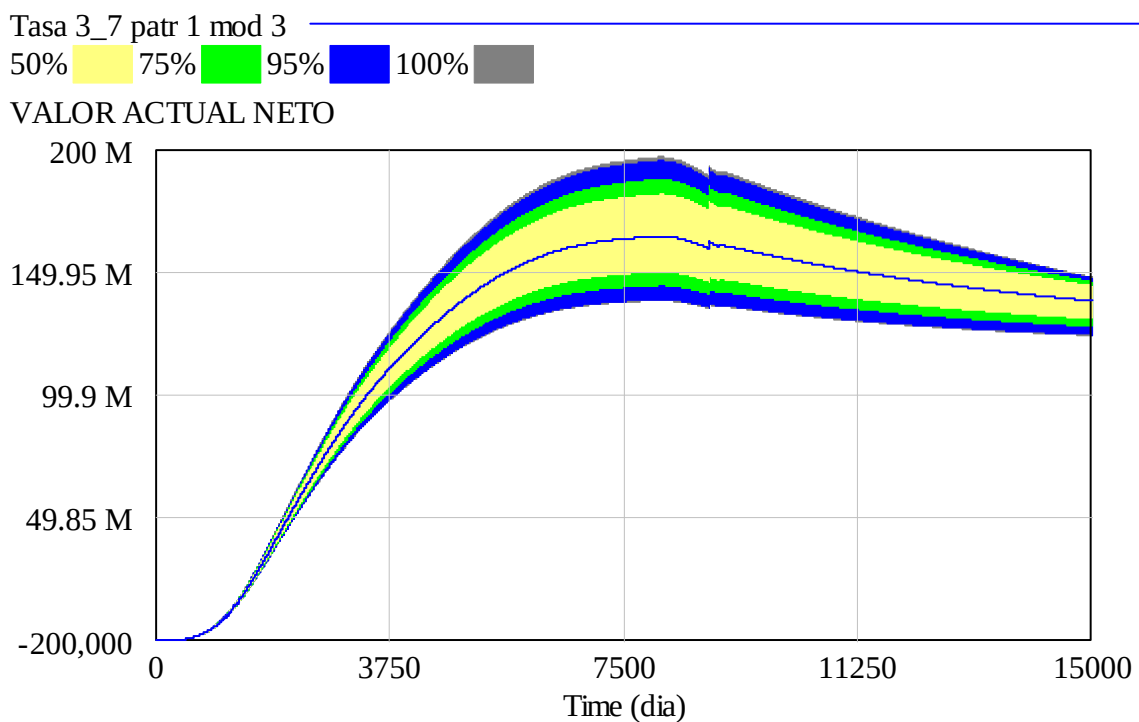
|                           | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 3 |              |               |              |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|                           | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2 | VAN patrón 3  | VAN patrón 4 |
| Valor a fecha liquidación | 160.700.000 €                                                            | 64.510.000 € | 133.100.000 € | 32.330.000 € |
| Valor a fin de simulación | 138.220.000 €                                                            | 41.530.000 € | 128.880.000 € | 27.880.000 € |

## 14.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL ESCENARIO 3

### 14.2.1. Variación de la tasa de descuento del VAN entre un 3 y un 7%. Escenario 3.

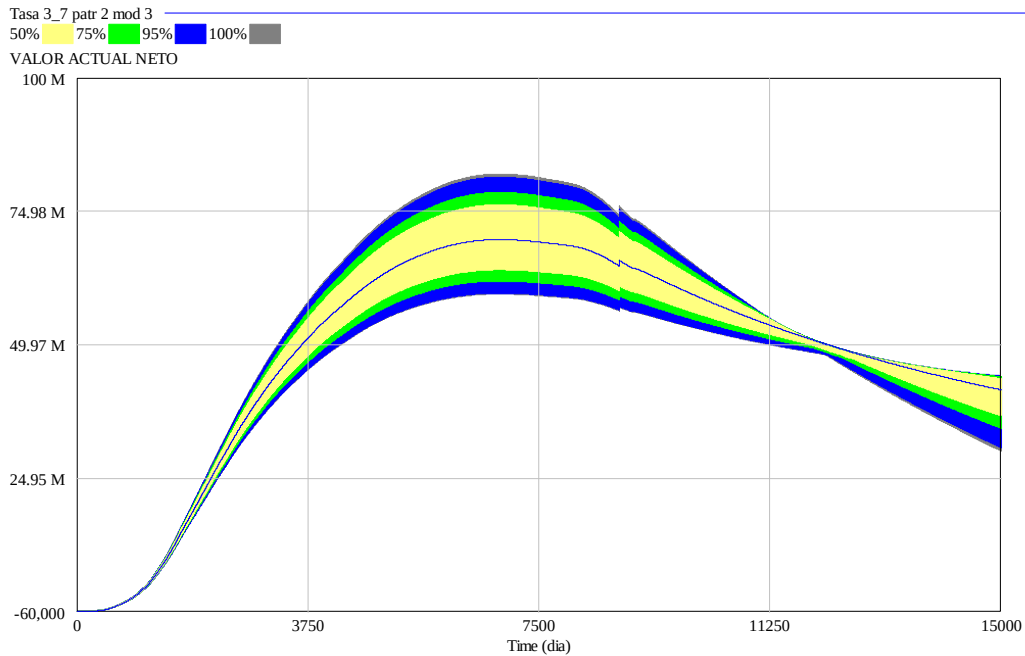
Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación de la **Tasa de descuento anual** entre un 3% y un 7%.

Gráfica 14-21 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 3).

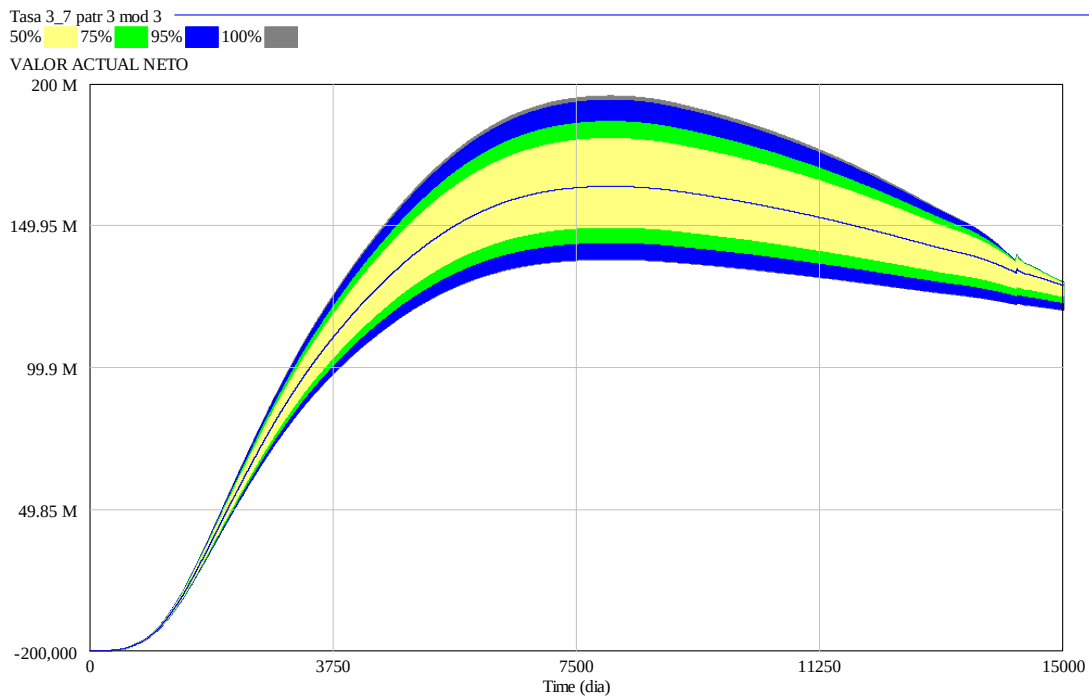


Nótese cómo aparece una pequeña perturbación tras el máximo fruto de los ingresos obtenidos por la liquidación de activos.

Gráfica 14-22 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 3).



Gráfica 14-23 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 3).



Gráfica 14-24 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 3).

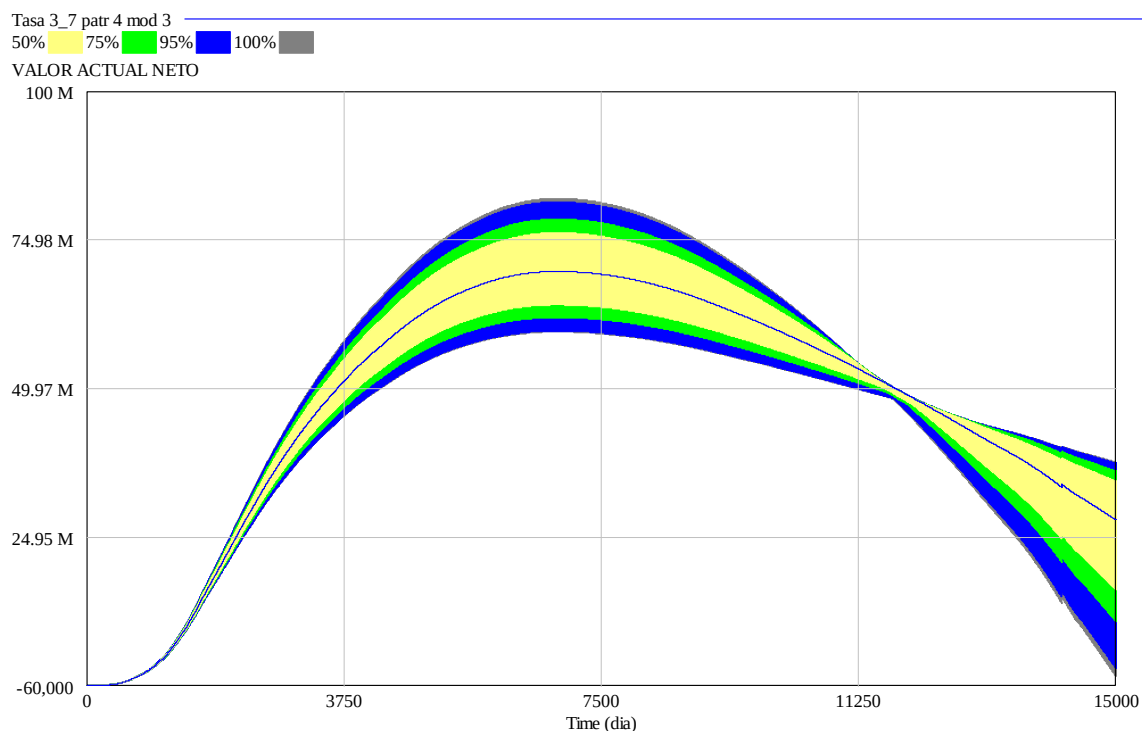


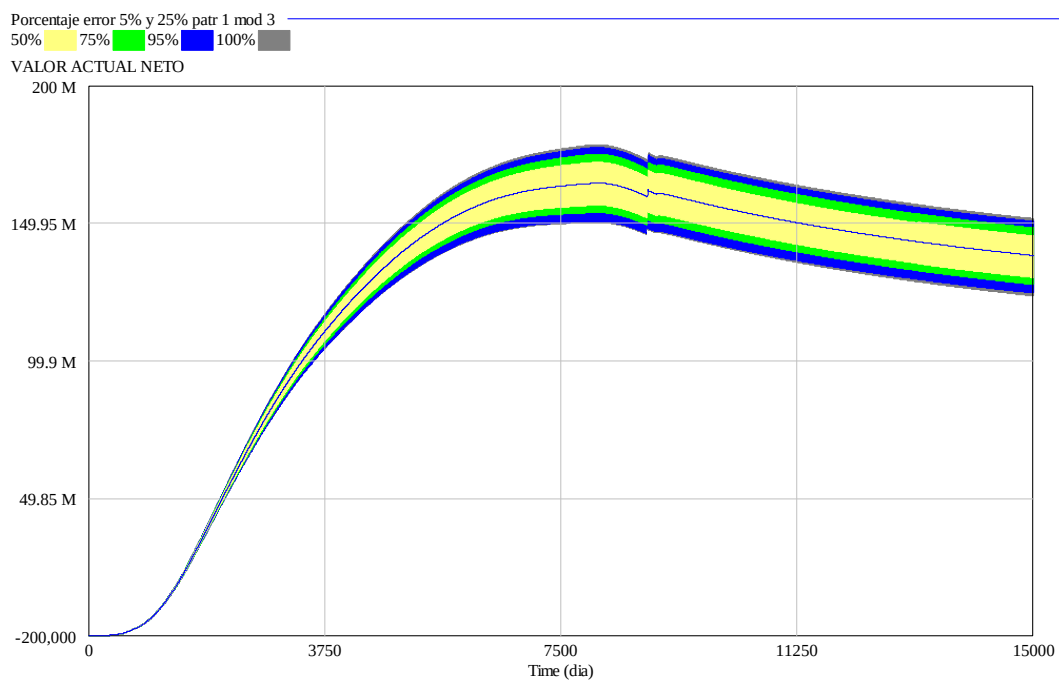
Tabla 14-2 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 3.  
Sensibilidad de Tasa de descuento anual entre el 3% y el 7% .

|                                   | Valores del VAN obtenidos según el patrón de<br>demanda para el escenario 3 |              |               |              |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|                                   | VAN patrón 1                                                                | VAN patrón 2 | VAN patrón 3  | VAN patrón 4 |
| Valor a fecha<br>liquidación (3%) | 191.020.000 €                                                               | 73.900.000 € | 136.380.000 € | 11.180.000 € |
| Valor a fecha<br>liquidación (7%) | 135.980.000 €                                                               | 56.220.000 € | 121.960.000 € | 39.590.000 € |
| Valor a fin de<br>simulación (3%) | 147.940.000 €                                                               | 29.910.000 € | 126.820.000 € | 1.105.000 €  |
| Valor a fin de<br>simulación (7%) | 124.150.000 €                                                               | 44.110.000 € | 120.100.000 € | 37.620.000 € |

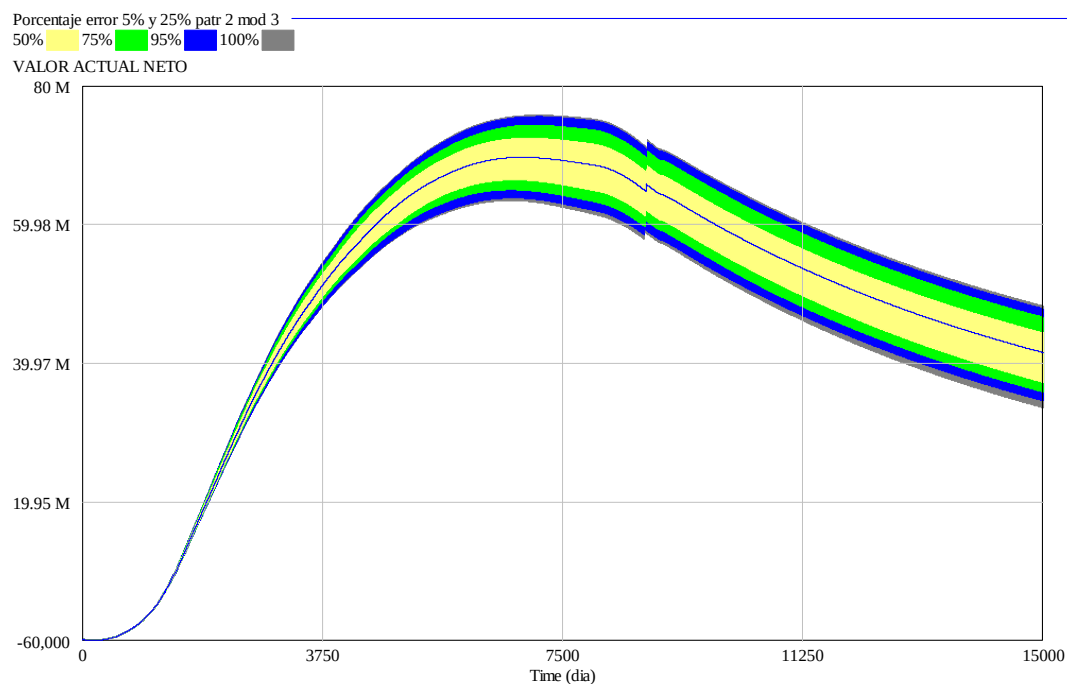
### 14.2.2. Variación del porcentaje de error entre un 5 y un 25%. Escenario 3.

Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación del **Porcentaje de error** entre un 5 y un 25%.

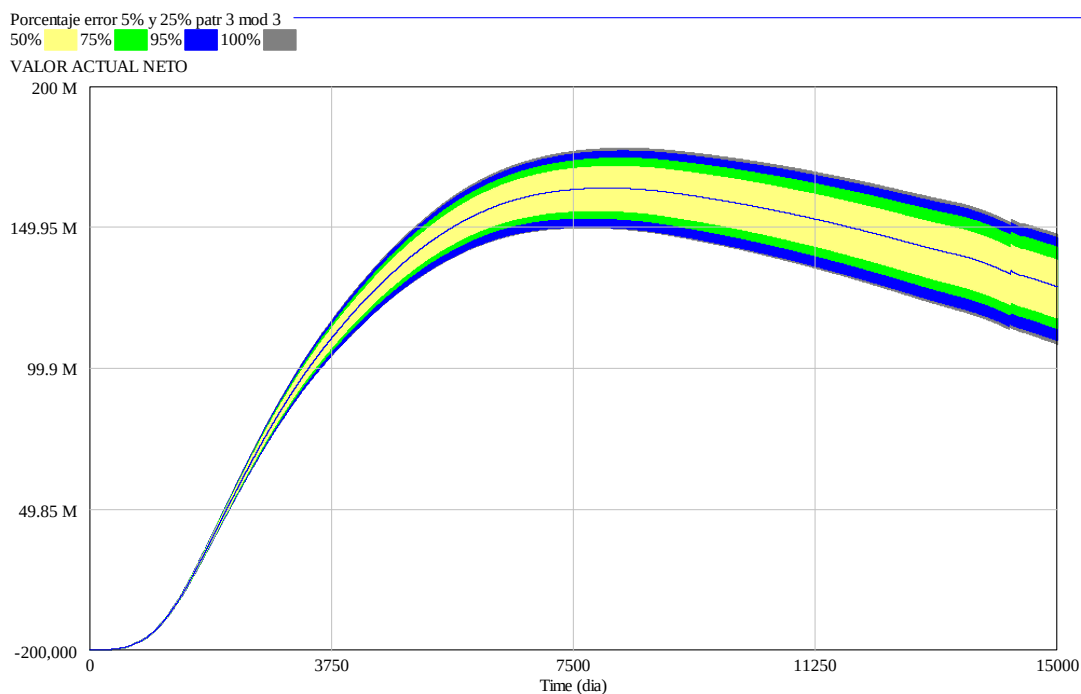
Gráfica 14-25 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).



Gráfica 14-26 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).



Gráfica 14-27 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).





Gráfica 14-28 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).

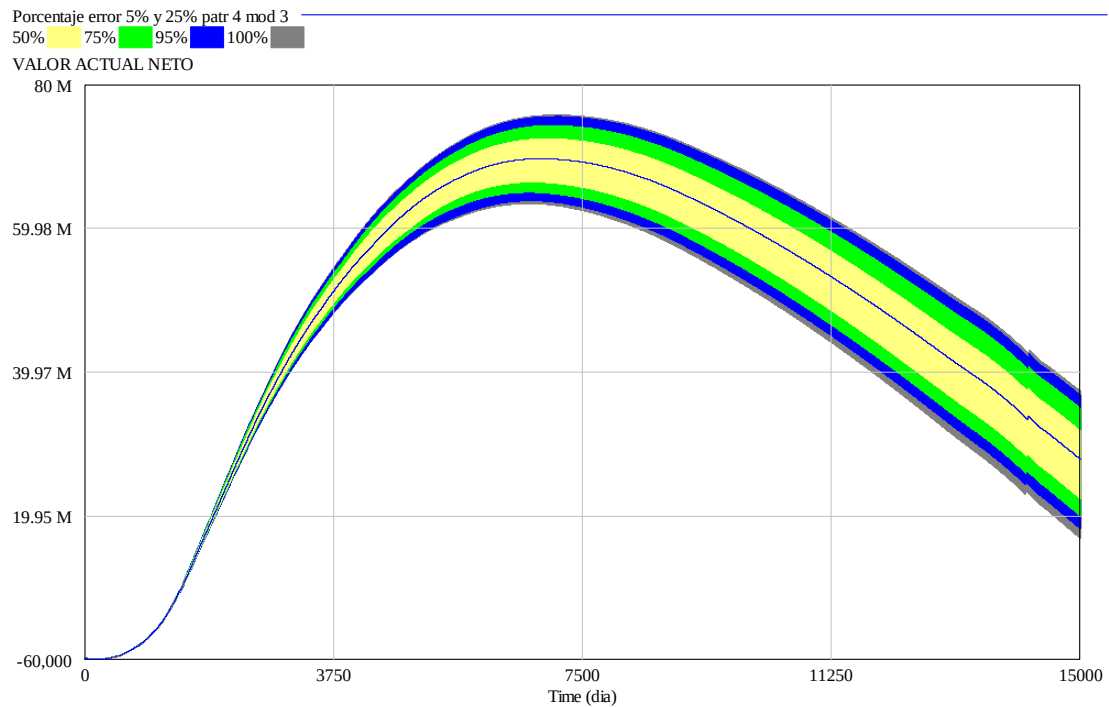


Tabla 14-3 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 3.  
Sensibilidad del Porcentaje de error entre el 5% y el 25%

|                                 | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 3 |              |               |              |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|                                 | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2 | VAN patrón 3  | VAN patrón 4 |
| Valor a fecha liquidación (5%)  | 174.460.000 €                                                            | 70.160.000 € | 151.790.000 € | 39.800.000 € |
| Valor a fecha liquidación (25%) | 147.090.000 €                                                            | 57.170.000 € | 114.350.000 € | 21.160.000 € |
| Valor a fin de simulación (5%)  | 151.830.000 €                                                            | 46.580.000 € | 147.820.000 € | 35.400.000 € |
| Valor a fin de simulación (25%) | 124.710.000 €                                                            | 33.040.000 € | 109.820.000 € | 16.370.000 € |

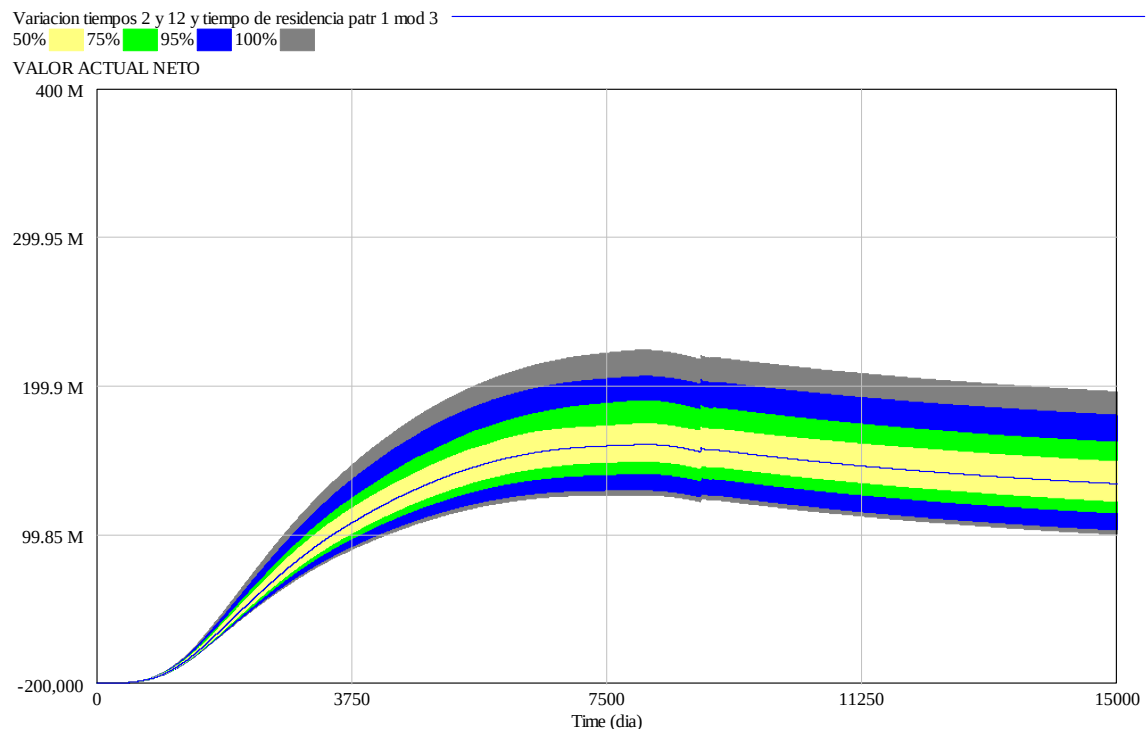
### 14.2.3. Variación de los tiempos operativos entre 2 y 12 días y del tiempo de residencia entre 3 y 8 años. Escenario 3.

Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación de los tiempos operativos entre 2 y 12 días y el **tiempo de residencia** entre 3 y 8 años..

Entendemos por tiempos operativos los siguientes:

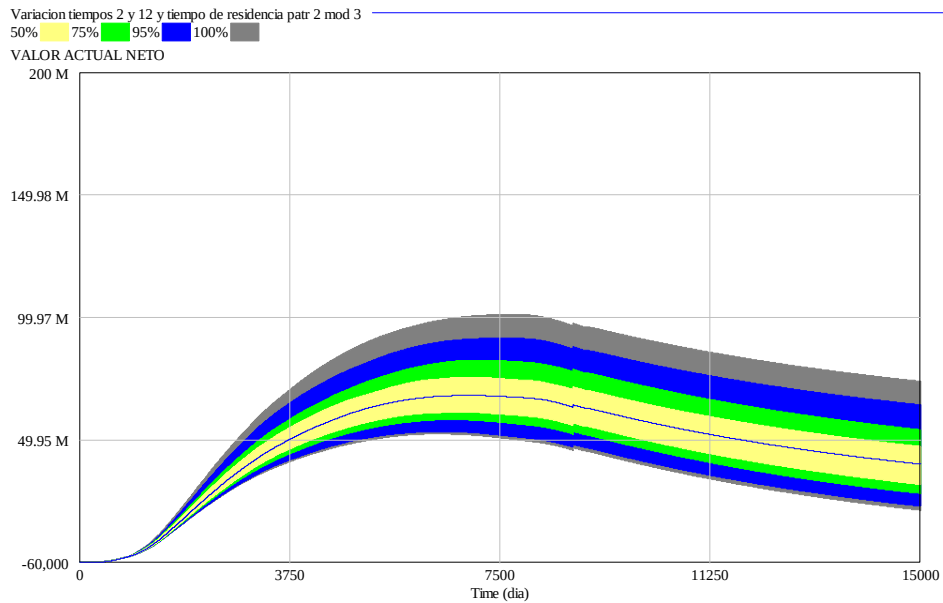
- **Tiempos de inspección**
- **Tiempos de producción**
- **Tiempos de reprocesado**

Gráfica 14-29 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de los tiempos de inspección, tiempos de producción, tiempos de reprocesado entre 2 y 12 días y el tiempo de residencia entre 3 y 8 años considerándolos uniformemente distribuidos con 200 simulaciones. (Escenario 3).

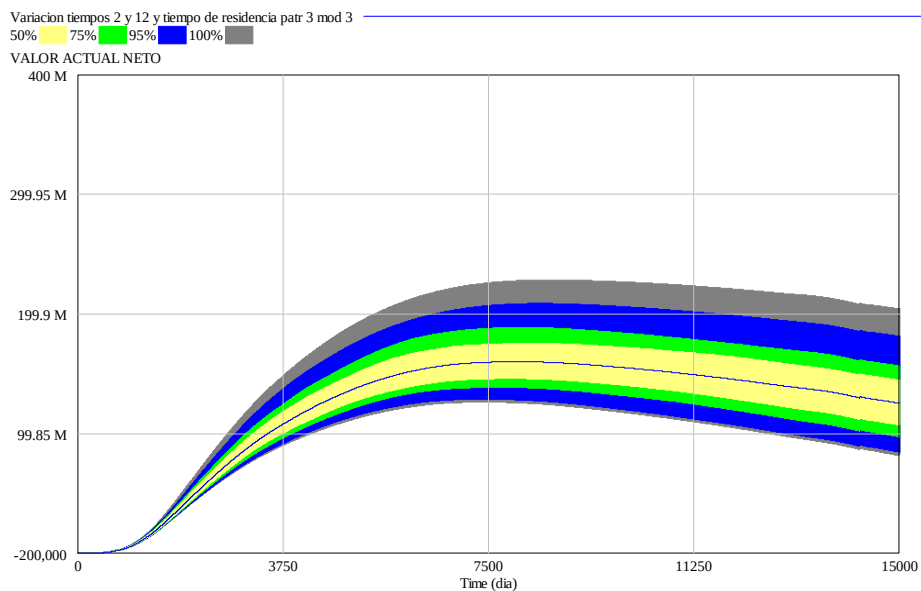


Como puede observarse la variabilidad de éstos tiempos operativos produce una variabilidad bastante acusada.

Gráfica 14-30 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de los tiempos de inspección, tiempos de producción, tiempos de reprocesado entre 2 y 12 días y el tiempo de residencia entre 3 y 8 años considerándolos uniformemente distribuidos con 200 simulaciones. (Escenario 3).



Gráfica 14-31 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de los tiempos de inspección, tiempos de producción, tiempos de reprocesado entre 2 y 12 días y el tiempo de residencia entre 3 y 8 años considerándolos uniformemente distribuidos con 200 simulaciones. (Escenario 3).



Gráfica 14-32 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de los tiempos de inspección, tiempos de producción, tiempos de reprocesado entre 2 y 12 días y el tiempo de residencia entre 3 y 8 años considerándolos uniformemente distribuidos con 200 simulaciones. (Escenario 3).

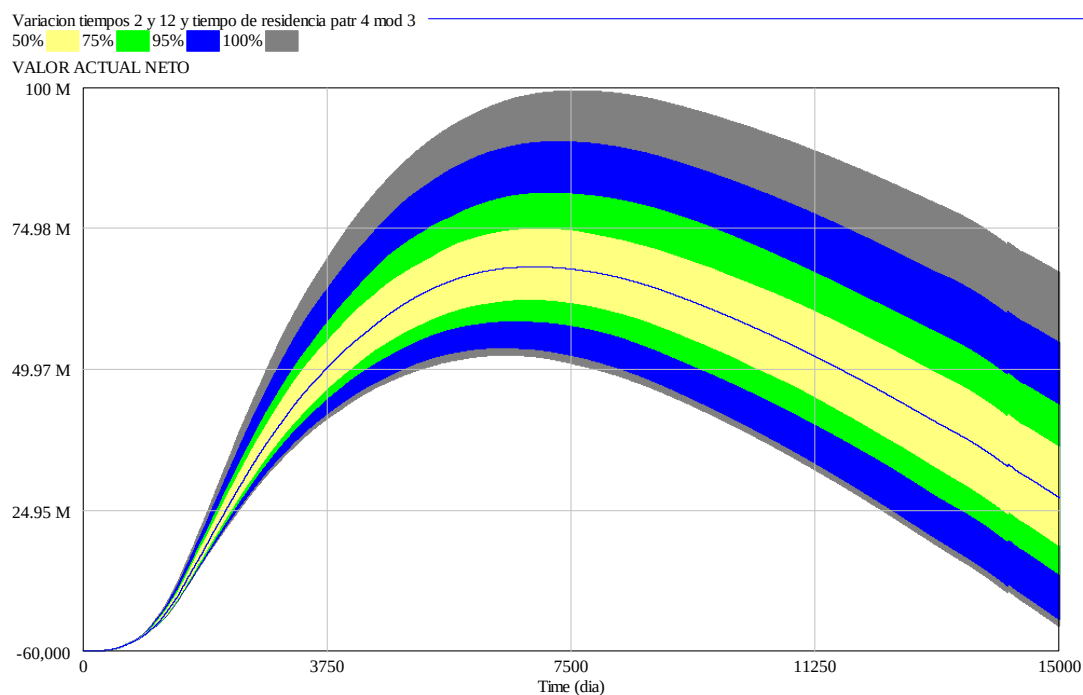


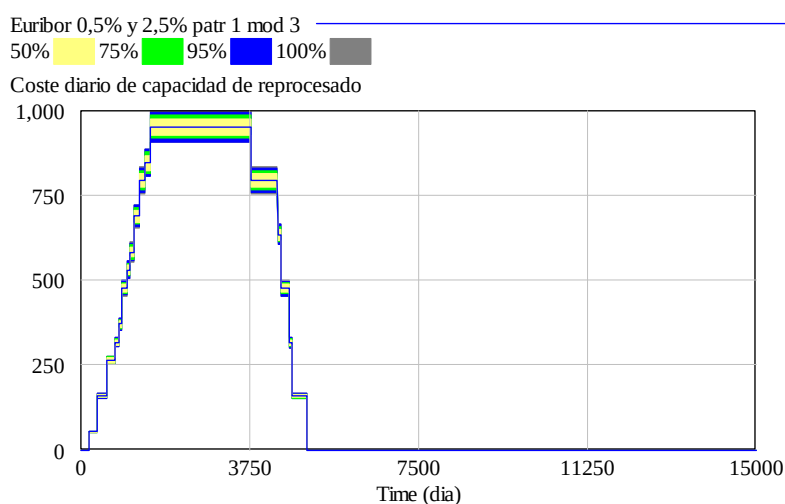
Tabla 14-4 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 3. Sensibilidad del Tiempo de residencia entre 3 y 8 años y de los tiempos de inspección, tiempos de producción, tiempos de reprocesado entre 2 y 12 días.

|                                              | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 3 |              |               |              |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|                                              | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2 | VAN patrón 3  | VAN patrón 4 |
| Valor a fecha liquidación (3 años y 2 días)  | 225.490.000 €                                                            | 97.520.000 € | 211.460.000 € | 73.610.000 € |
| Valor a fecha liquidación (8 años y 12 días) | 121.810.000 €                                                            | 43.940.000 € | 84.580.000 €  | 5.591.000 €  |
| Valor a fin de simulación (3 años y 2 días)  | 203.330.000 €                                                            | 75.310.000 € | 208.030.000 € | 69.750.000 € |
| Valor a fin de simulación (8 años y 12 días) | 98.850.000 €                                                             | 19.010.000 € | 79.680.000 €  | 565.535 €    |

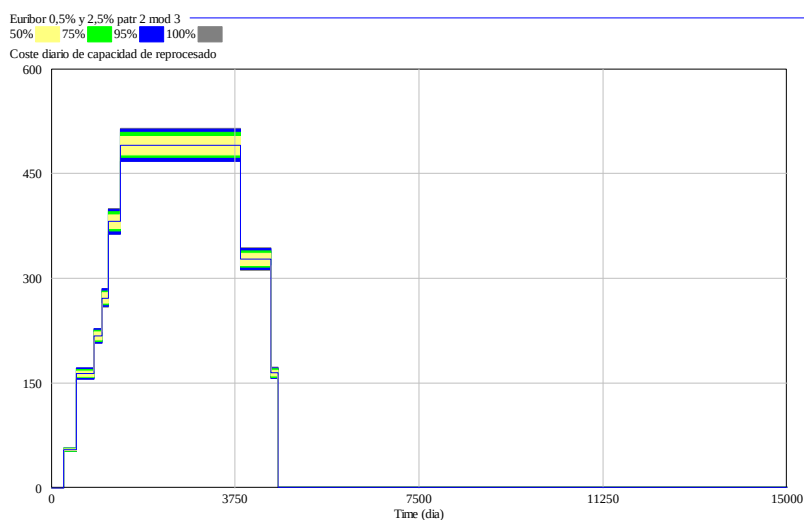
#### 14.2.4. Comportamiento del Coste diario de capacidad de reprocesado cuando el Euribor a un año varía entre el 0,5 y el 2,5%. Escenario 3.

Se muestran a continuación los análisis de sensibilidad del **Coste diario de capacidad de reprocesado** para los distintos patrones de demanda de productos variando el **Euribor** a un año entre un 0,5% y un 2,5 %. Aunque no se muestra gráficamente por no aportar cambios a las gráficas anteriormente descritas se ha comprobado también que la influencia sobre el VAN no es muy sensible a la variación de este parámetro.

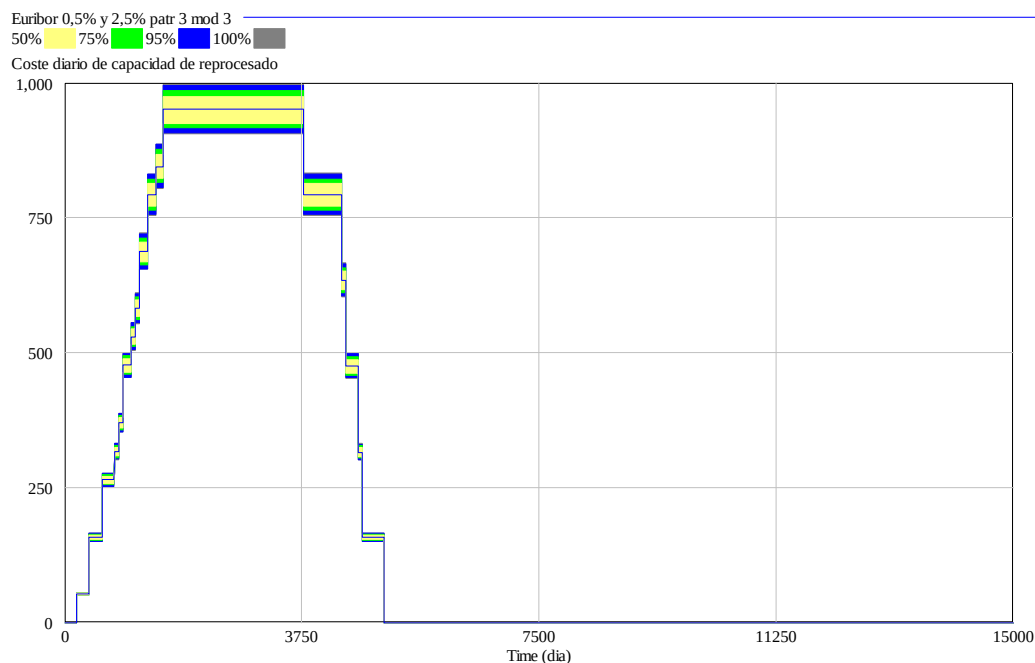
Gráfica 14-33 Análisis de sensibilidad del Coste diario de capacidad de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del Euribor a un año considerándolo uniformemente distribuido entre el 0,5% y el 2,5% con 200 simulaciones. (Escenario 3).



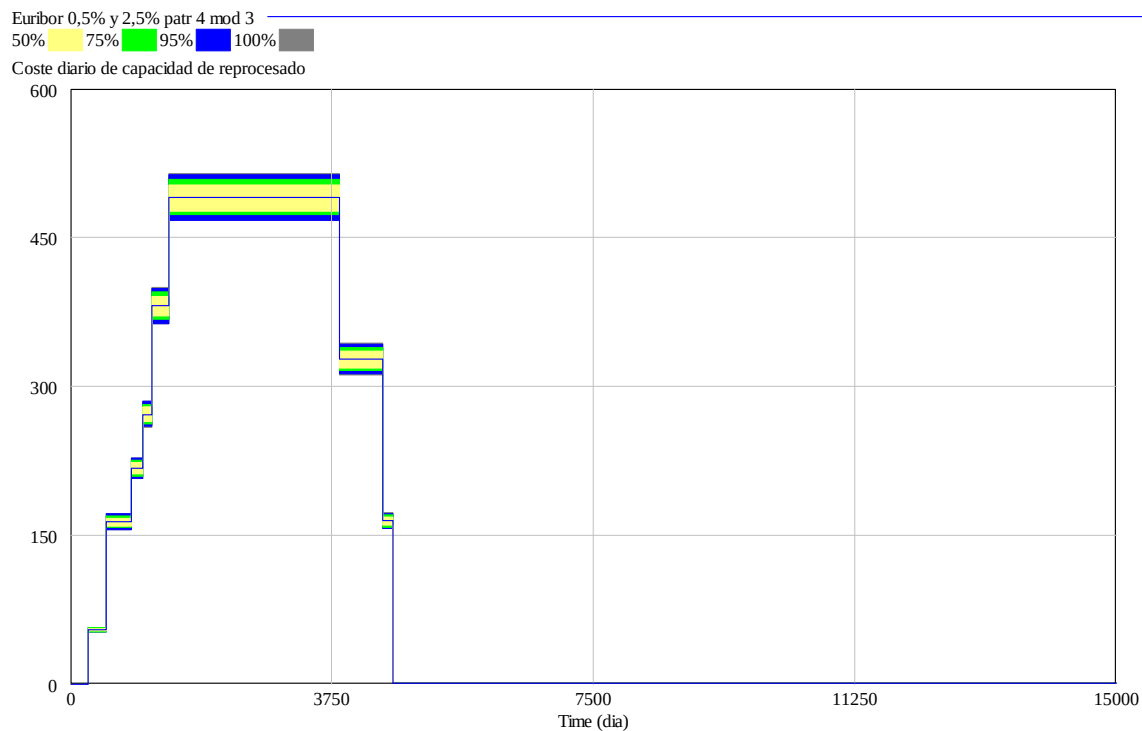
Gráfica 14-34 Análisis de sensibilidad del Coste diario de capacidad de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del Euribor a un año considerándolo uniformemente distribuido entre el 0,5% y el 2,5% con 200 simulaciones. (Escenario 3).



Gráfica 14-35 Análisis de sensibilidad del Coste diario de capacidad de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del Euribor a un año considerándolo uniformemente distribuido entre el 0,5% y el 2,5% con 200 simulaciones. (Escenario 3).



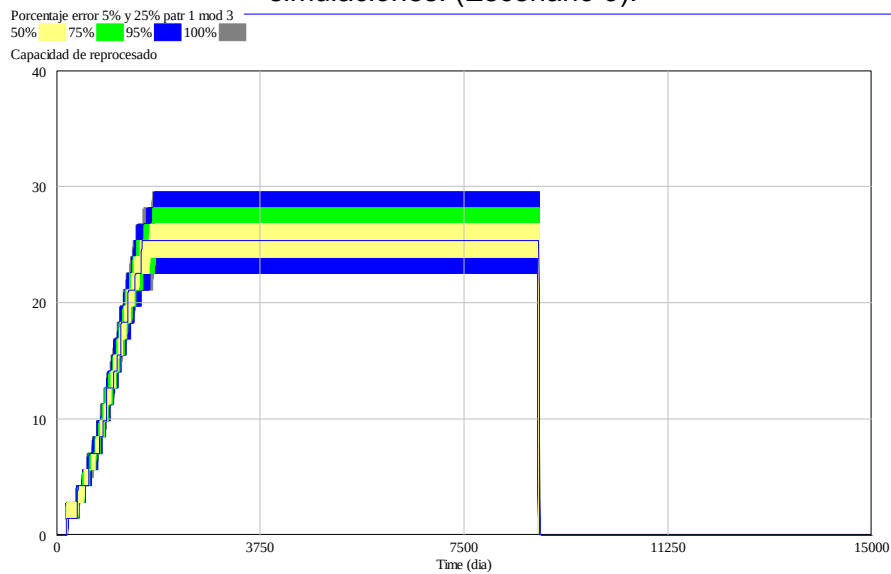
Gráfica 14-36 Análisis de sensibilidad del Coste diario de capacidad de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del Euribor a un año considerándolo uniformemente distribuido entre el 0,5% y el 2,5% con 200 simulaciones. (Escenario 3).



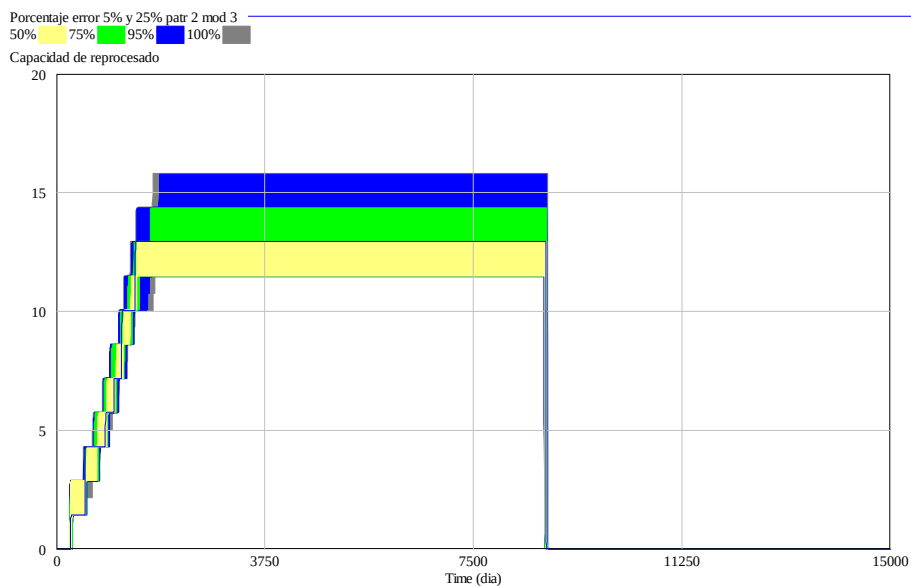
#### 14.2.5. Comportamiento de la Capacidad de reprocesado cuando el porcentaje de error varía entre un 5 y un 25%. Escenario 3.

Se muestran a continuación los análisis de sensibilidad de la **Capacidad de reprocesado** para los distintos patrones de demanda de productos variando el **Porcentaje de error** entre un 5% y un 25 %.

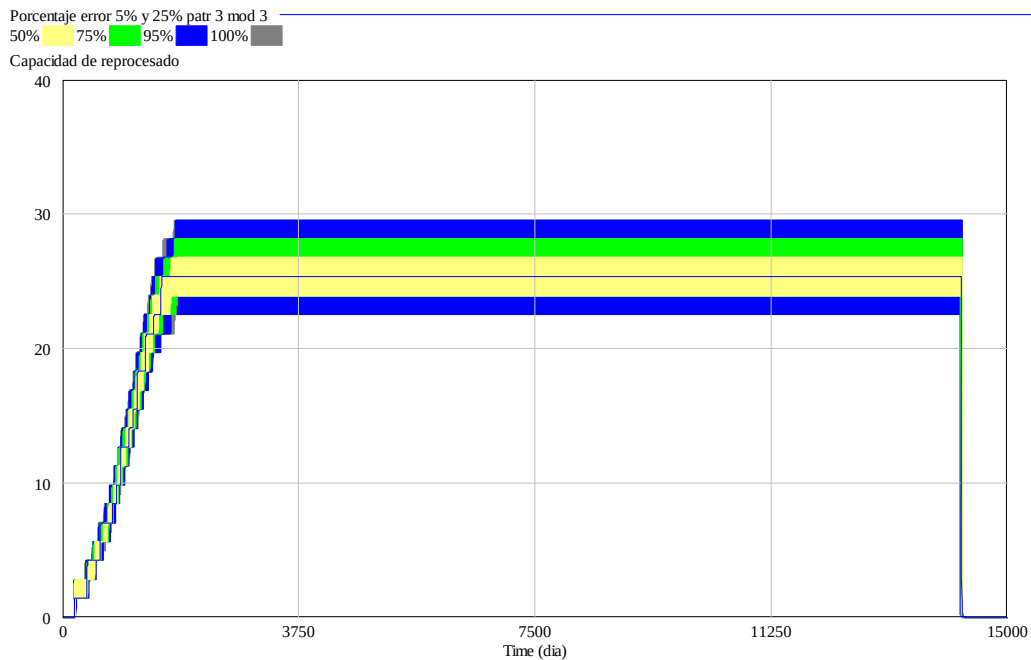
Gráfica 14-37 Análisis de sensibilidad de la Capacidad de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).



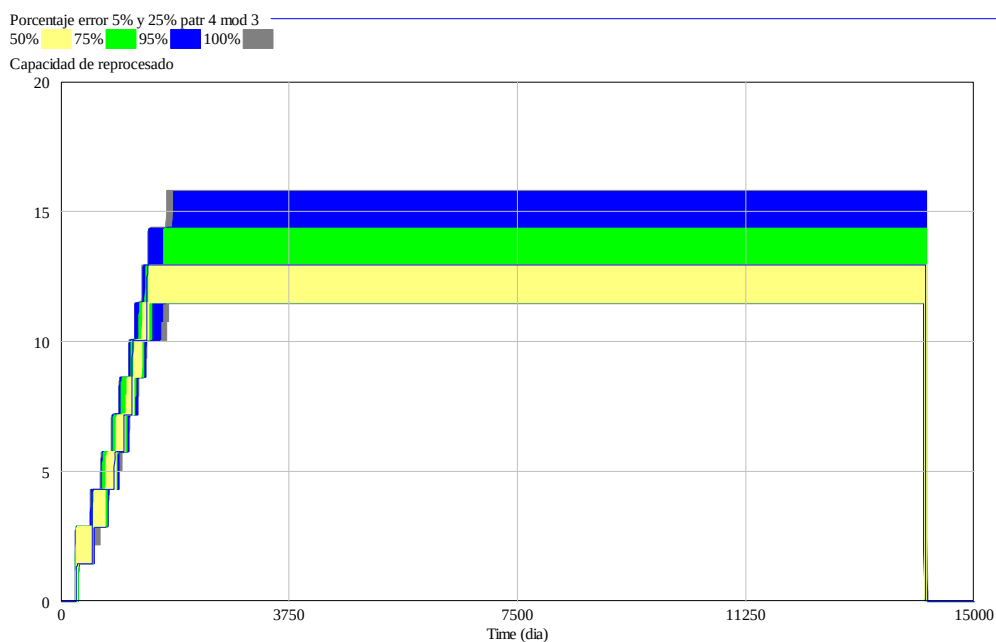
Gráfica 14-38 Análisis de sensibilidad de la Capacidad de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).



Gráfica 14-39 Análisis de sensibilidad de la Capacidad de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).



Gráfica 14-40 Análisis de sensibilidad de la Capacidad de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).

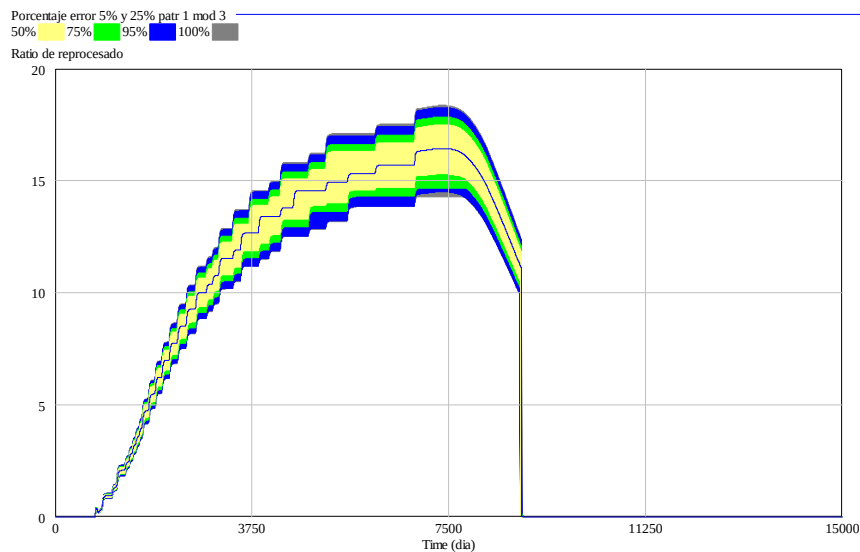




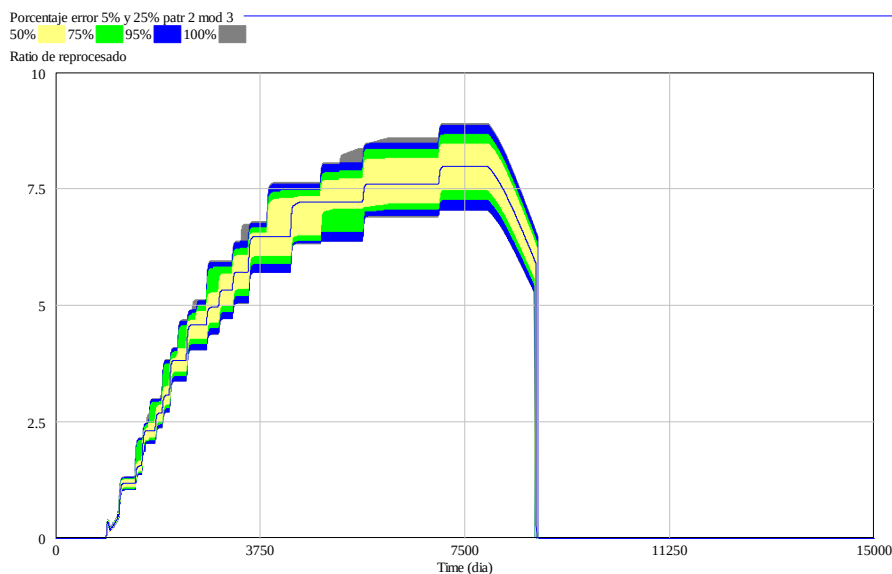
### 14.2.6. Comportamiento del Ratio de reprocesado cuando varia el porcentaje de error entre un 5 y un 25%. Escenario 3.

A continuación se muestran los análisis de sensibilidad del ratio de reprocesado para los distintos patrones de demanda de productos variando el **Porcentaje de error** entre un 5% y un 25 %.

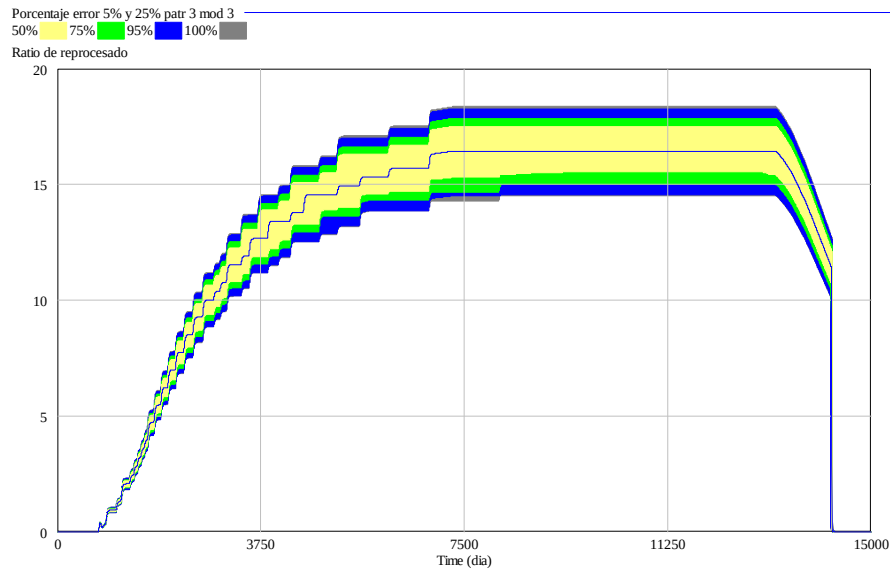
Gráfica 14-41 Análisis de sensibilidad del Ratio de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).



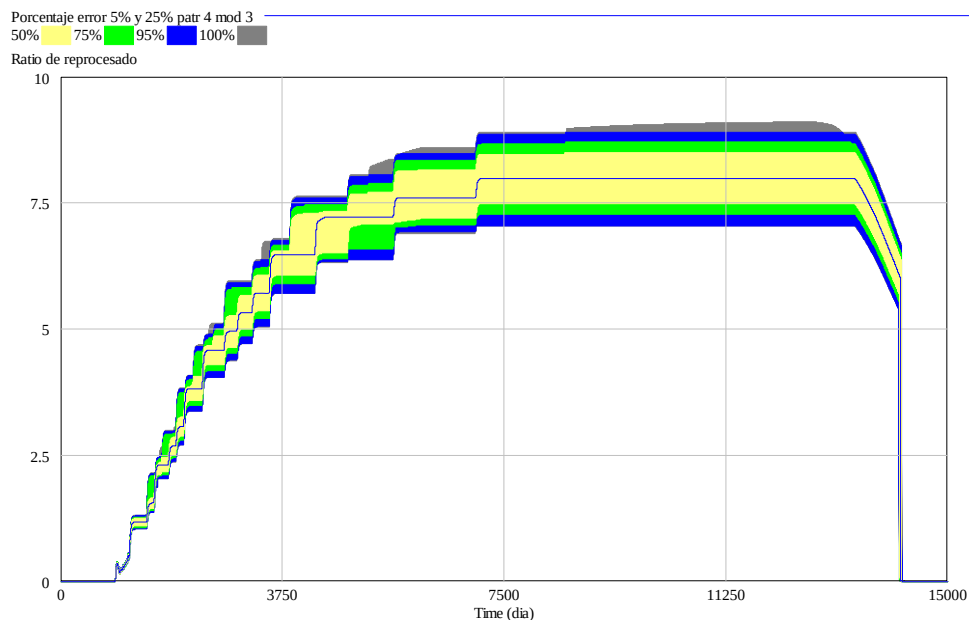
Gráfica 14-42 Análisis de sensibilidad del Ratio de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).



Gráfica 14-43 Análisis de sensibilidad del Ratio de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).



Gráfica 14-44 Análisis de sensibilidad del Ratio de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).



### **14.3. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DEL ESCENARIO 3**

#### **14.3.1. Conclusiones generales sobre el modelo (Escenario 3)**

Del comportamiento del modelo en este escenario 3 se deduce que:

- a) El modelo genera un crecimiento y reducción de la capacidad de reprocesado coherente con la capacidad de reprocesado deseada.
- b) El modelo representa cómo evoluciona el ratio de producción cuando se comienza a disponer de productos reprocesados a través del ratio de reprocesado.
- c) El modelo permite la venta de productos usados a mercados secundarios a precios reducidos.

#### **14.3.2. Conclusiones específicas sobre el modelo en el caso de estudio (Escenario 3)**

En el caso de estudio de las baterías de litio con los datos manejados se observa lo siguiente:

- a) Con los parámetros de simulación empleados se puede observar que todos los patrones de demanda producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4. Este hecho difiere de los estudios llevados a cabo por (Georgiadis, Vlachos 2004) en los que un patrón de demanda de mayor duración produce más beneficios. La razón para que esto se produzca reside en el hecho de que en el modelo de (Georgiadis, Vlachos 2004) los precios y costes permanecían constantes durante todo el período de simulación mientras que en el modelo que se ha desarrollado en este trabajo varían según las condiciones indicadas en el apartado 11.2 Datos y parámetros empleados.
- b) Del análisis de sensibilidad realizado sobre la tasa de descuento anual entre un 3% y un 7% se deduce que todos los patrones de demanda producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.
- c) Del análisis de sensibilidad realizado sobre el tiempo de residencia entre 3 y 8 años y de los tiempos de producción, reprocesado e inspección entre 2 y 12

días todos los patrones de demanda producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.

- d) Del análisis de sensibilidad realizado sobre el Porcentaje de error entre un 5 y un 25% se deduce que también todos los patrones de demanda producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.
- e) En el modelo propuesto y con los datos manejados se puede concluir que el escenario 3 produce mayores beneficios económicos que los escenarios 1 y 2; es decir, el establecimiento de un sistema de recogida junto con un sistema de reprocesado produce beneficios económicos por sí mismo para todos los patrones de demanda.
- f) De todos los factores empleados en el análisis de sensibilidad se deduce que una mejora tecnológica que produzca a tiempos de producción, reprocesado e inspección bajos produce los mayores beneficios de la simulación.

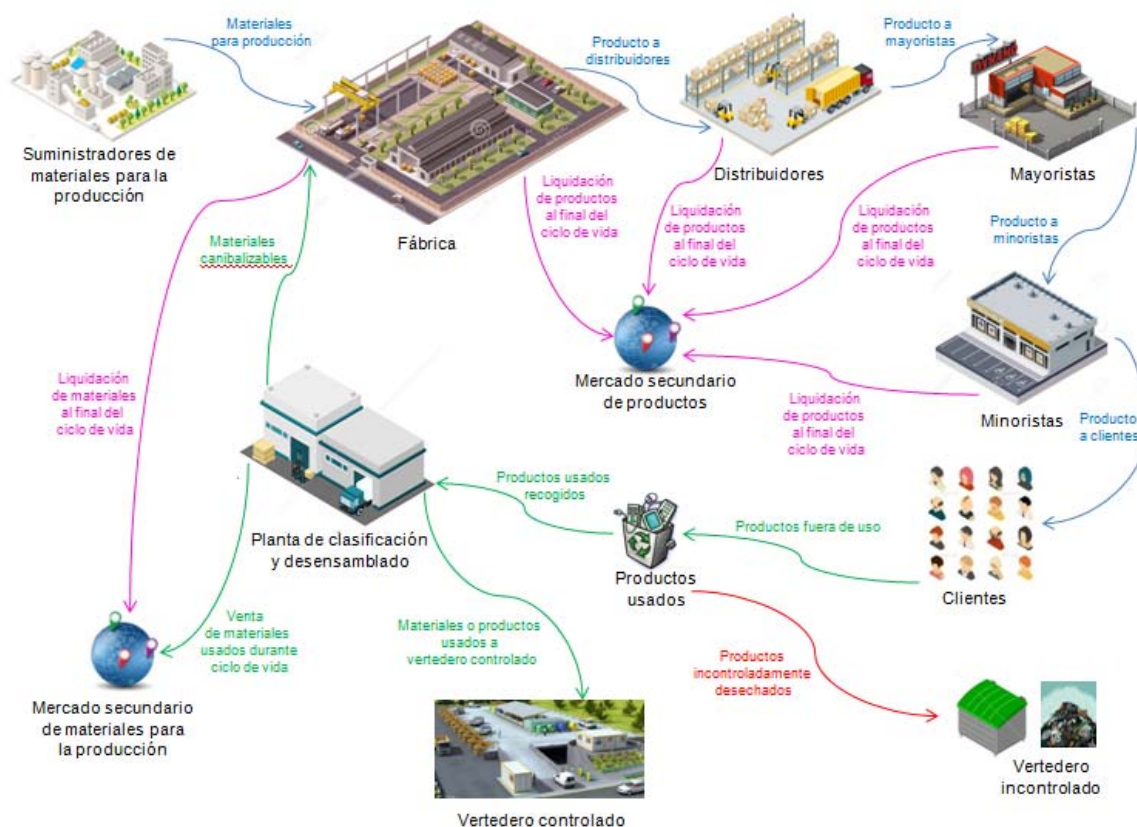


## 15. ESCENARIO 4. CADENA DE SUMINISTRO DIRECTA CON VERTIDO CONTROLADO DEL PRODUCTO USADO Y CANIBALIZACIÓN DE MATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN.

Se configura el modelo para que trabaje la cadena directa, la recogida de productos y la canibalización de componentes.

El esquema general de la cadena de suministro sería el que se recoge en la ilustración 15-1.

Ilustración 15-1 Esquema de red con vertido controlado de productos usados y Canibalización de materiales para la producción. (Escenario 4)

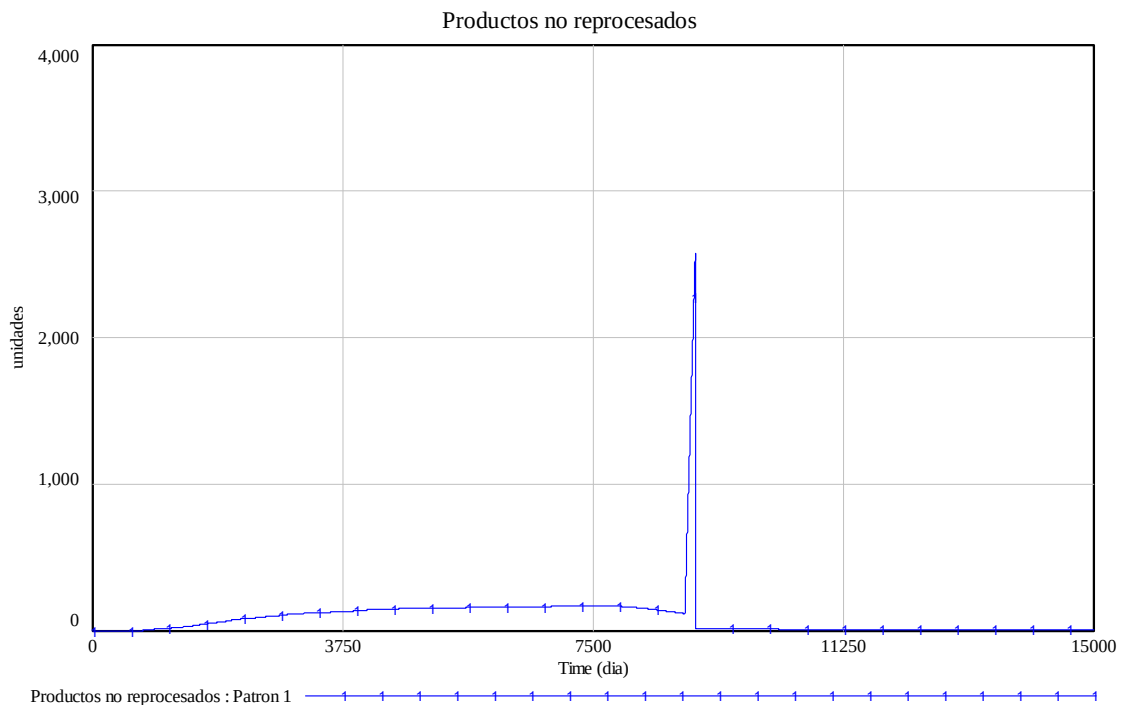


## 15.1. COMPORTAMIENTO DEL MODELO SEGÚN LOS PATRONES DE DEMANDA DEL PRODUCTO. (Escenario 4)

### 15.1.1- Comportamiento con patrón de demanda 1 (Escenario 4)

En este escenario los productos no reprocesados son enviados a desensamblado para canibalizar los componentes. Tal y como sucedía en los escenarios anteriores puede observarse que al final del ciclo de vida del producto se presenta una punta de acumulación de de productos no reprocesados que serán enviados finalmente a vertedero controlado.

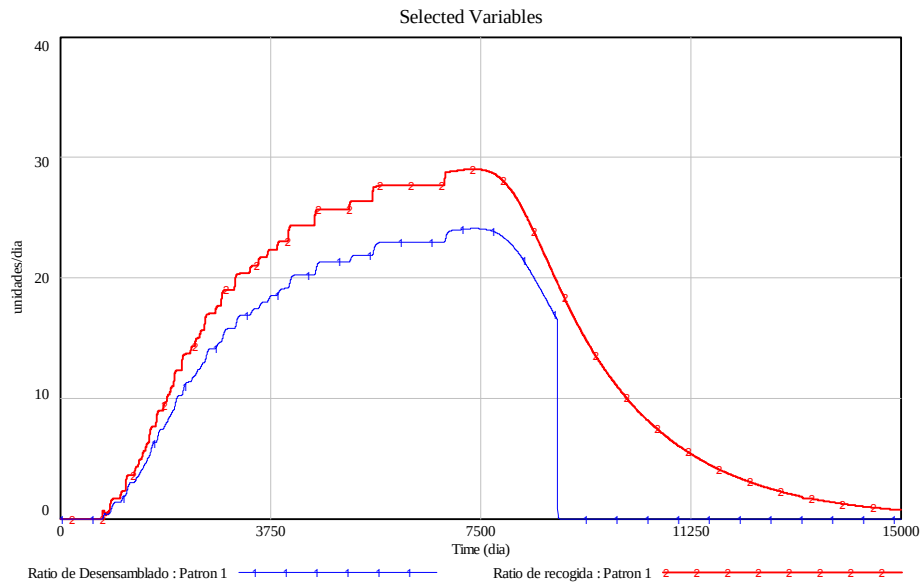
Gráfica 15-1 Productos no reprocesados para el patrón de demanda 1. (Escenario 4).



Los productos recogidos pueden seguir dos caminos, o están en buen estado y son vendidos en mercados secundarios o son desensamblado para canibalizarlos.

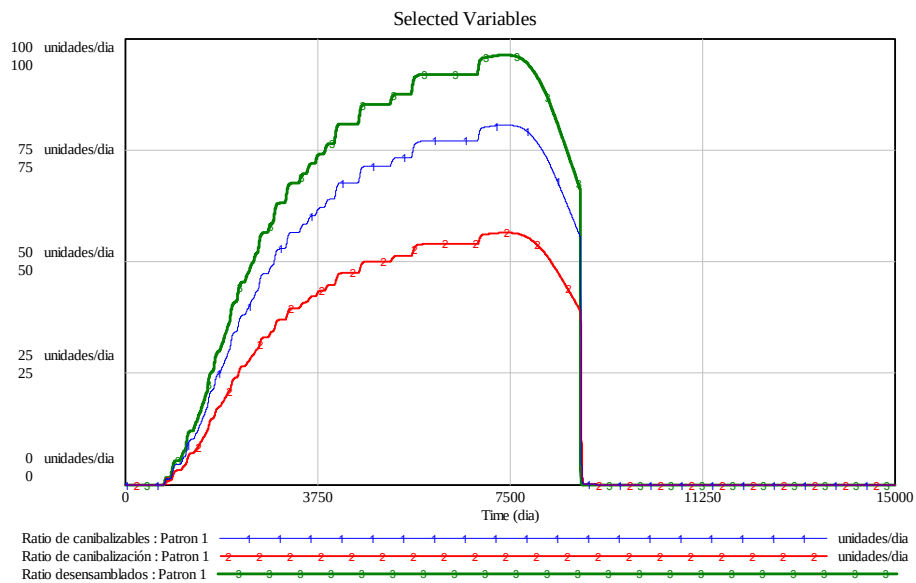
En la gráfica 15-2 se muestra la comparativa entre el ratio de recogida de productos y el ratio de desensamblado de productos.

Gráfica 15-2 Comparativa de Ratio de recogida y Ratio de desensamblado para el patrón de demanda 1. (Escenario 4).



Al desensamblarse los productos los materiales desensamblados se obtienen a un ritmo marcado por el ratio de desensamblado. Algunos de estos materiales contendrán defectos y se desecharán, los que no contengan defectos son susceptible de canibalizarse y se obtienen a un ritmo denominado Ratio de canibalizables. Aquellos materiales que no son vendidos en mercados secundarios se canibalizan a un ritmo marcado por el Ratio de canibalización. En la siguiente gráfica se muestra la comparación entre estos tres ratios.

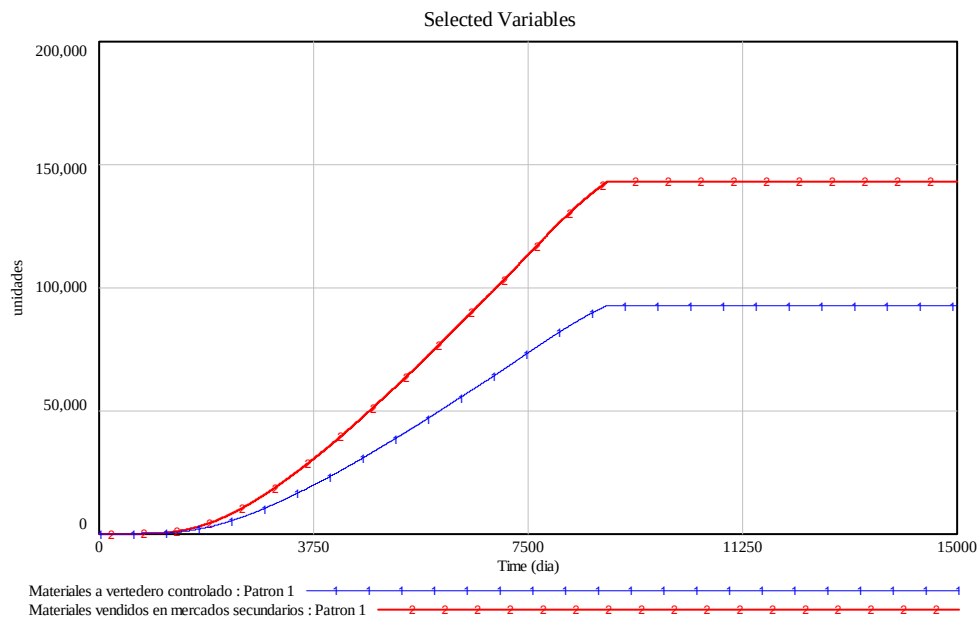
Gráfica 15-3 Comparativa de Ratio de desensamblados, Ratio de canibalizables y Ratio de canibalización para el patrón de demanda 1. (Escenario 4).





En la siguiente gráfica se muestra la comparativa entre los materiales no aptos que son enviados a vertedero controlado y los materiales aptos que son vendidos en mercados secundarios y no llevados a canibalización.

Gráfica 15-4 Comparativa de Materiales a vertedero controlado y Materiales vendidos en mercados secundarios para el patrón de demanda 1. Valores acumulados.  
(Escenario 4).

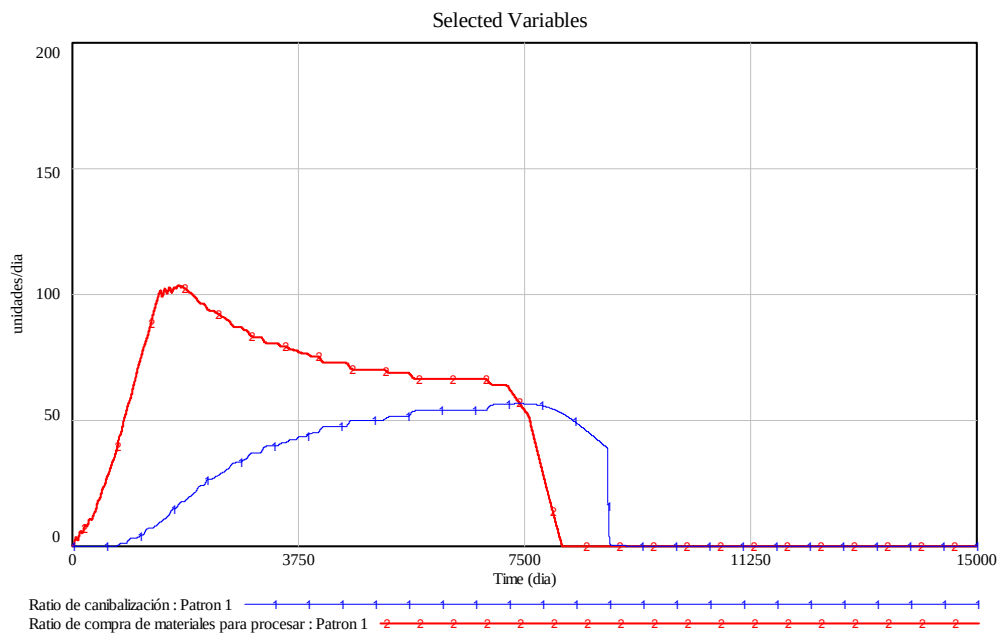


De forma análoga a como sucedía con la producción y el ratio de reprocesado, a medida que se van incorporando productos al almacén de materiales para procesar se va reduciendo la necesidad de adquirir nuevos materiales hasta que llega un momento en el cual todos los materiales empleados para la producción proceden de la canibalización.

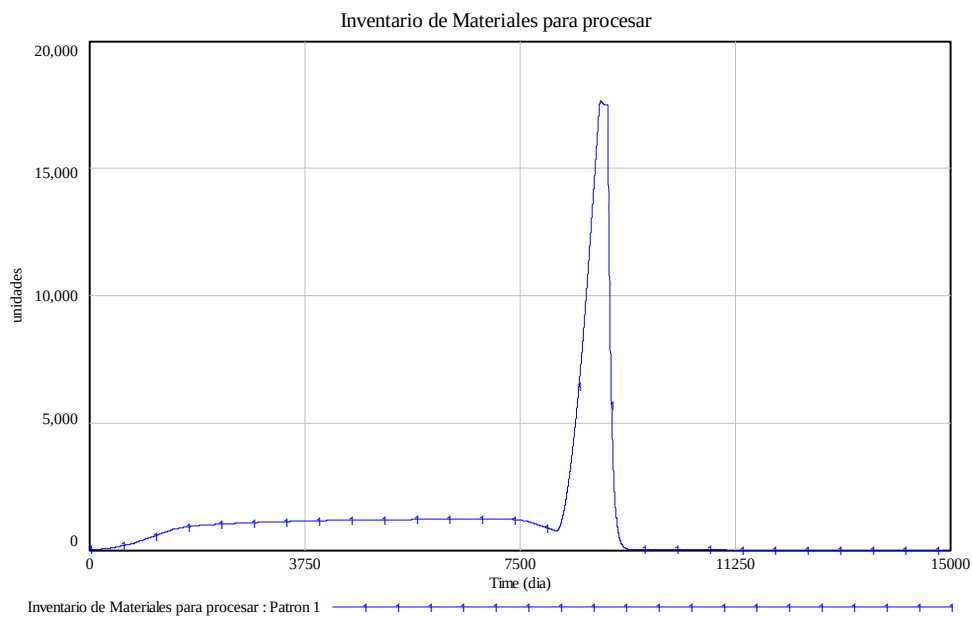
Cuando la demanda cae se produce una acumulación de materiales en el almacén de materiales para procesar debido a la inercia propia del sistema y a que la red inversa se encuentra con materiales que continúa enviando durante un tiempo a dicho almacén a pesar de que ya no hay consumo de los mismos. Pasado un período de tiempo estos materiales son liquidados.

**ESCENARIO 4: CADENA DE SUMINISTRO DIRECTA CON VERTIDO CONTROLADO DEL PRODUCTO USADO Y  
CANIBALIZACIÓN DE MATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN**

**Gráfica 15-5 Comparativa de Ratio de canibalización y Ratio de compra de materiales para procesar para el patrón de demanda 1. (Escenario 4).**

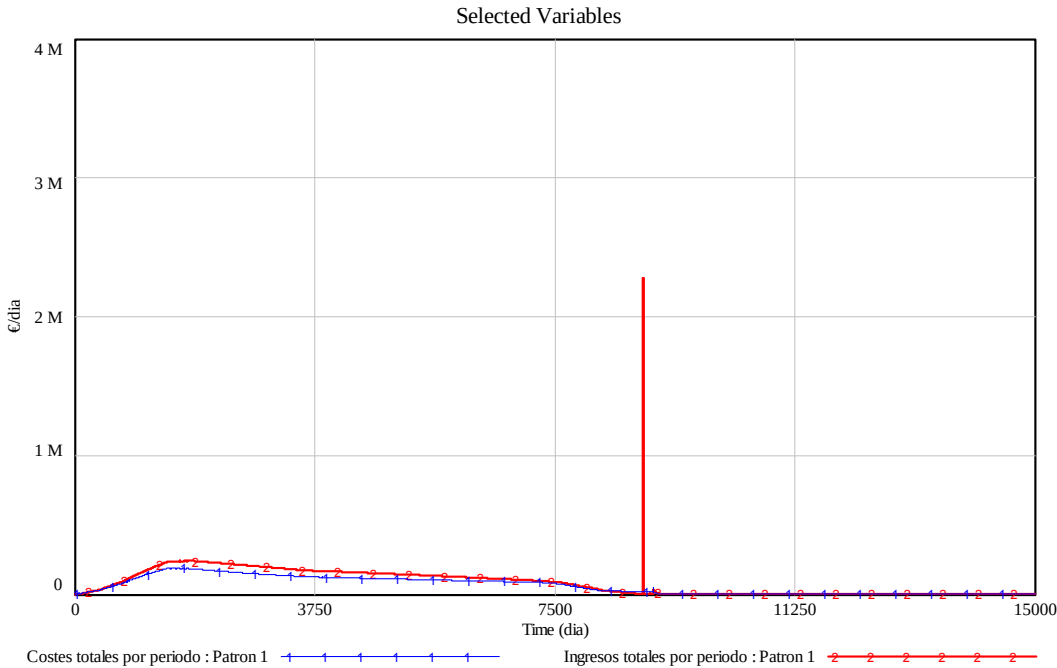


**Gráfica 15-6 Inventario de Materiales para procesar para el patrón de demanda 1. (Escenario 4).**

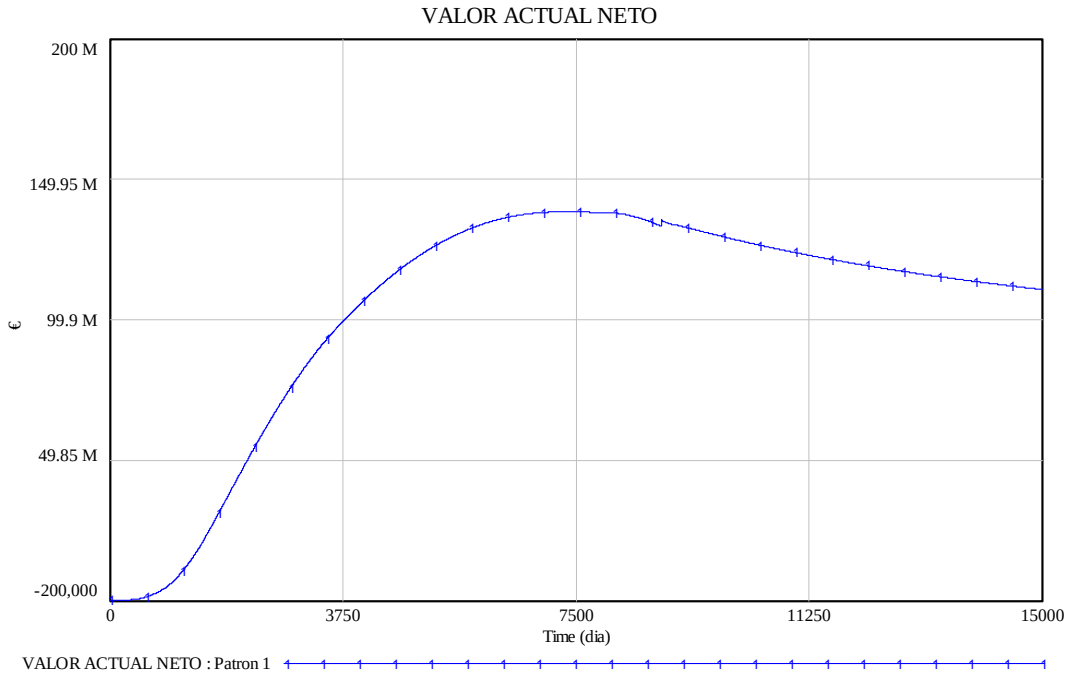


A continuación se muestra la comparativa entre los costes totales y los ingresos totales y el Valor Actual Neto para el patrón de demanda 1 en el escenario 5.

Gráfica 15-7 Comparativa de Costes totales e ingresos totales para el patrón de demanda 1. (Escenario 4).

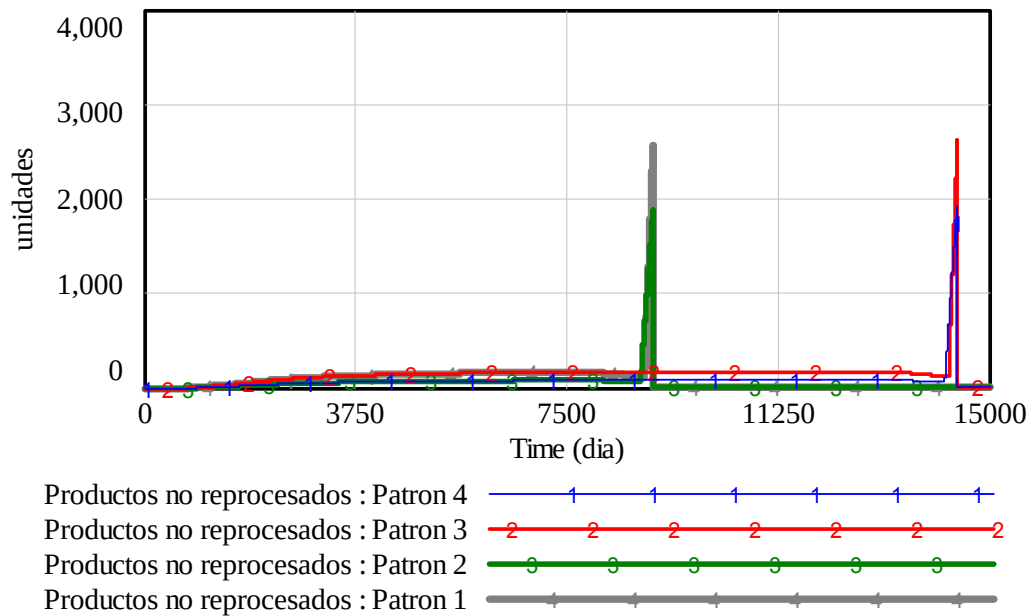


Gráfica 15-8 Valor actual neto para el patrón de demanda 1. (Escenario 4).

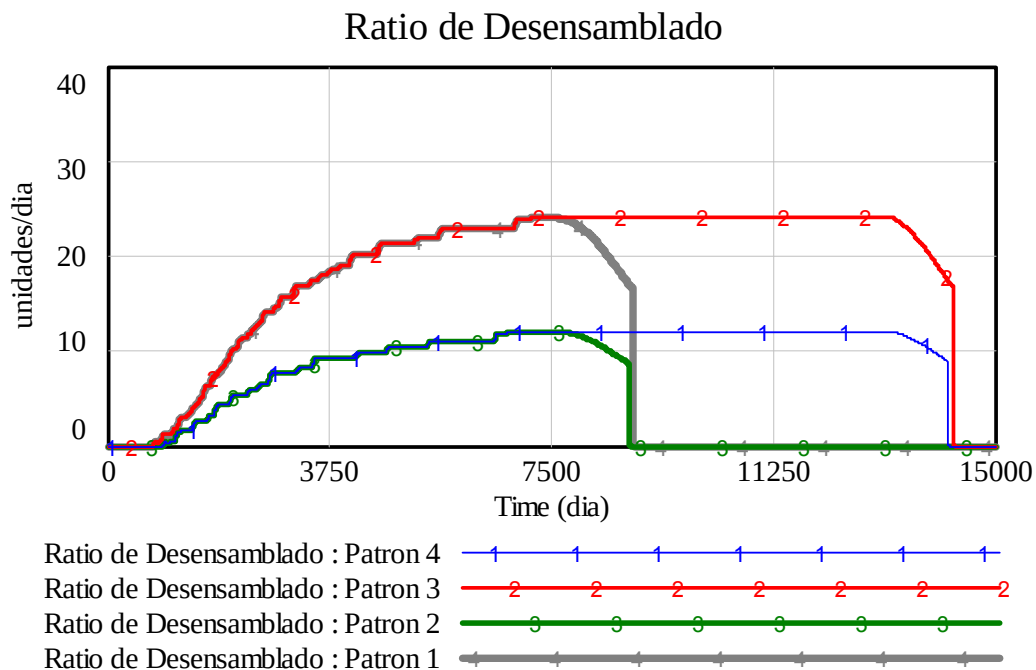


### 15.1.2- Comportamiento con los distintos patrones de demanda. (Escenario 4)

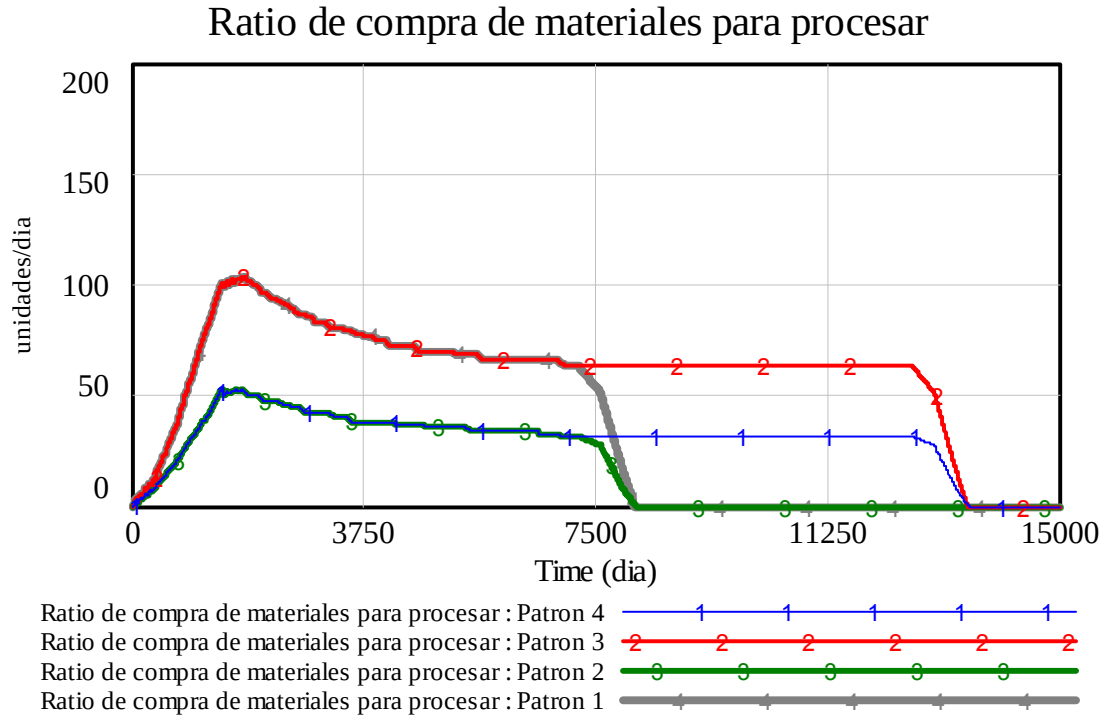
Gráfica 15-9 Productos no reprocesados para los distintos patrones de demanda.  
(Escenario 4).



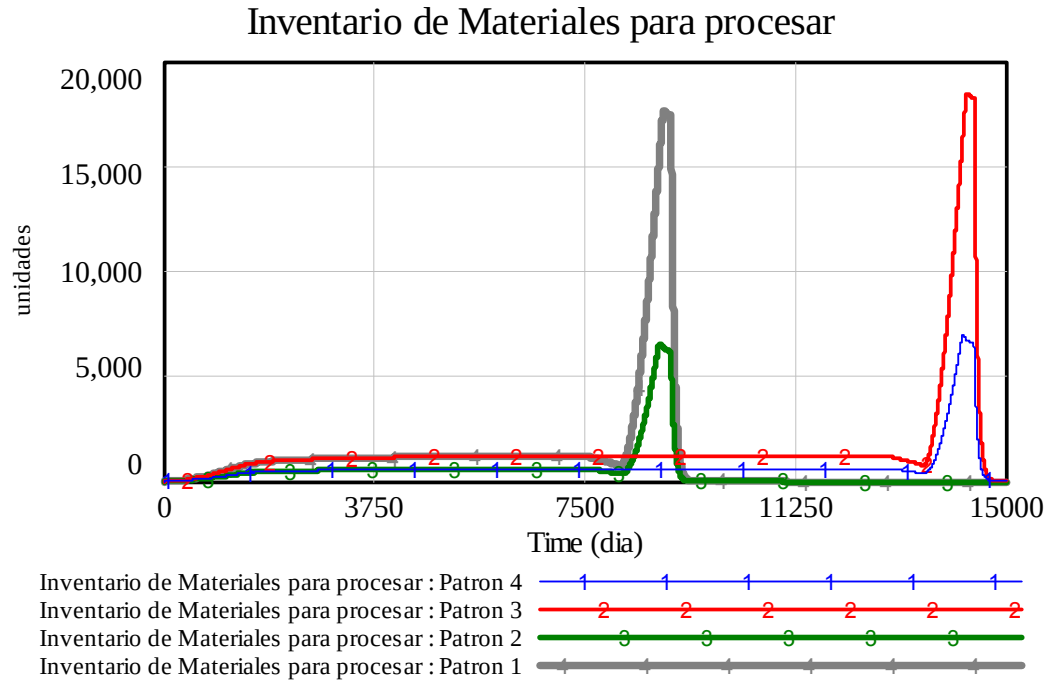
Gráfica 15-10 Ratio de Desensamblado para los distintos patrones de demanda.  
(Escenario 4).



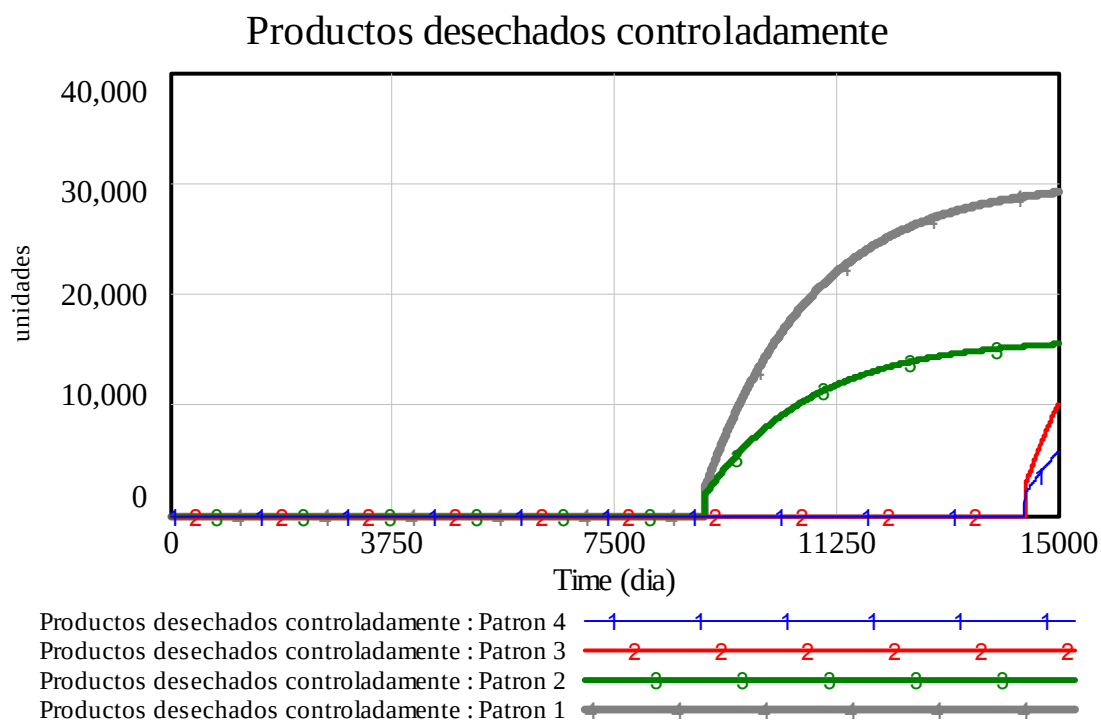
Gráfica 15-11 Ratio de compra de materiales para procesar para los distintos patrones de demanda. (Escenario 4).



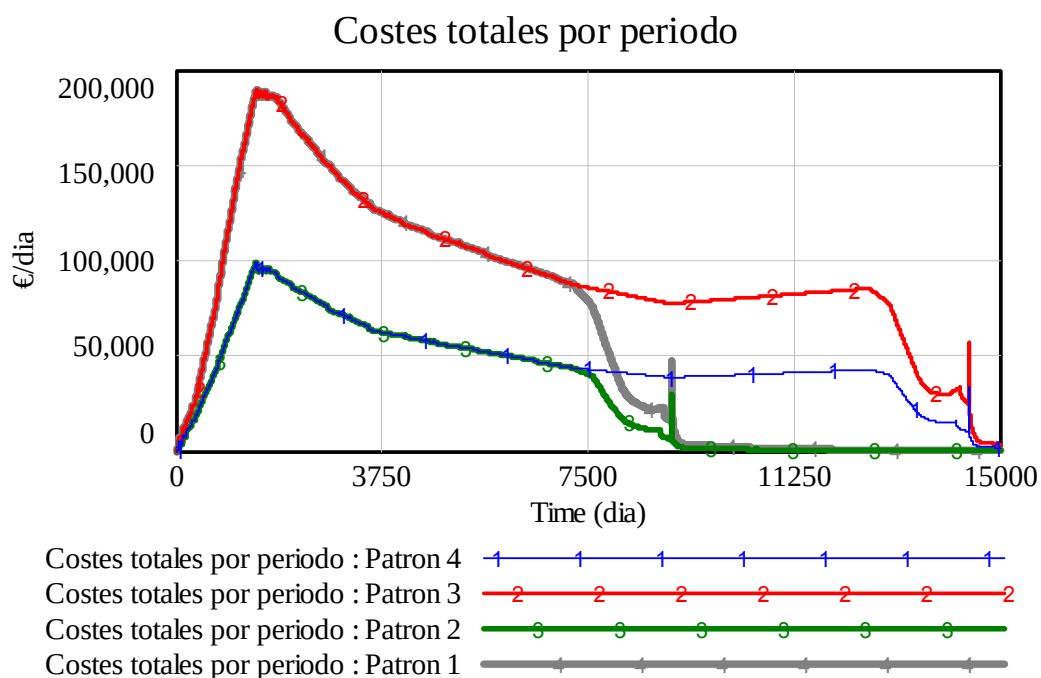
Gráfica 15-12 Gráfica de comparación del Inventario de Materiales para procesar para los distintos patrones de demanda. (Escenario 4).



Gráfica 15-13 Productos desechados controladamente para los distintos patrones de demanda. (Escenario 4).



Gráfica 15-14 Costes totales por periodo para los distintos patrones de demanda. (Escenario 4).



Gráfica 15-15 Valor actual neto para los distintos patrones de demanda. (Escenario 4).

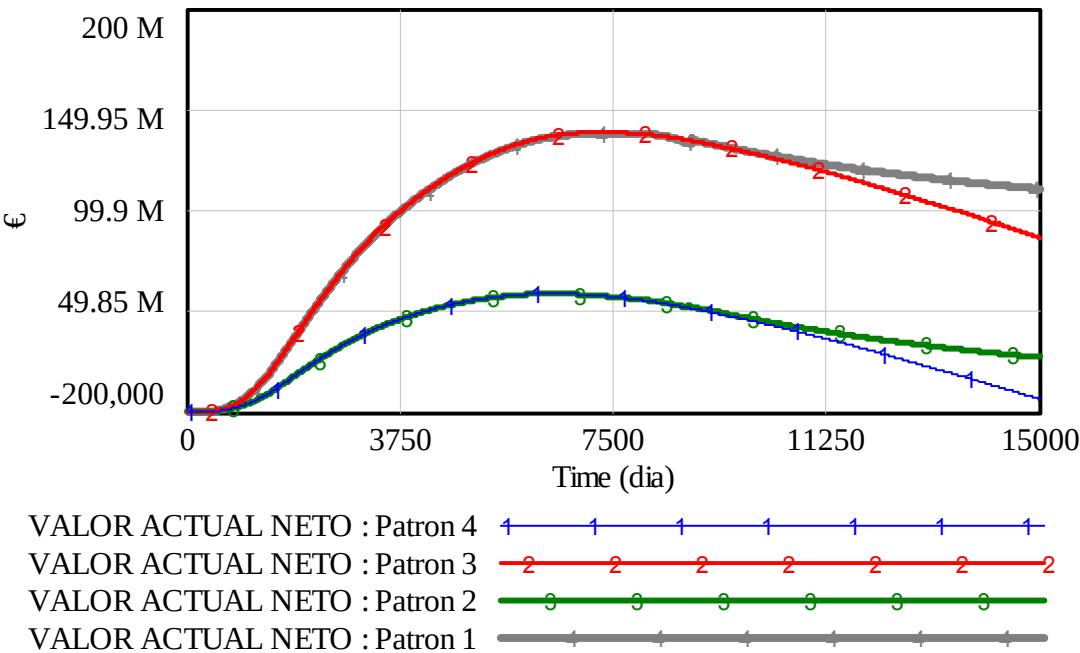


Tabla 15-1 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 4

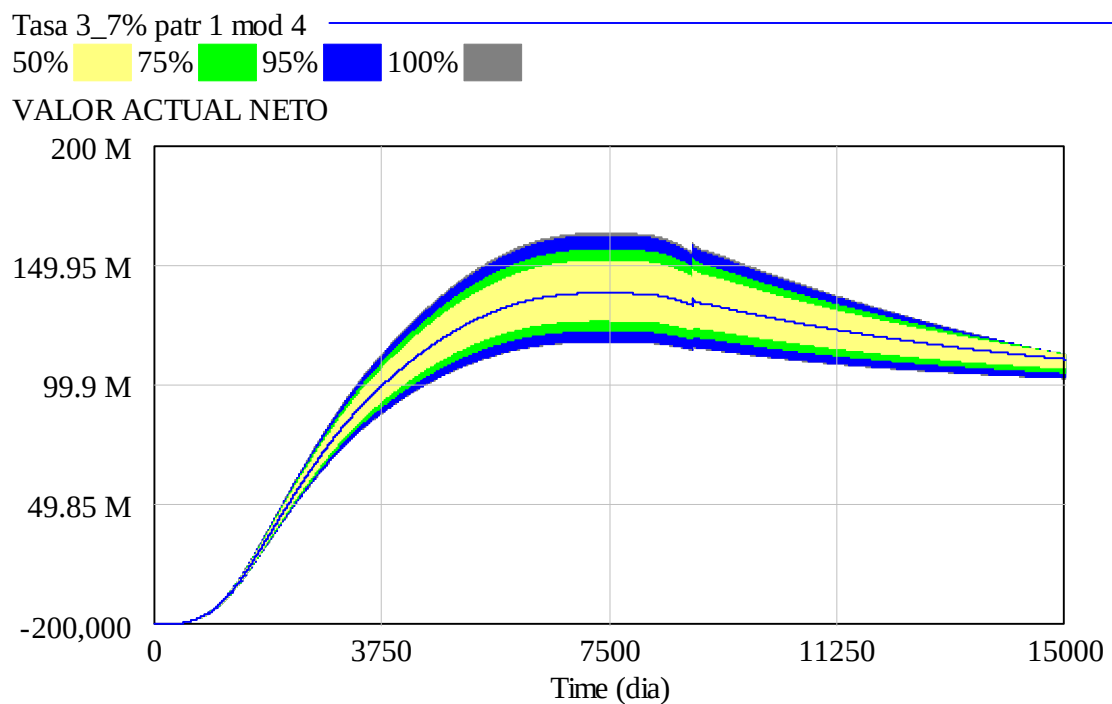
|                           | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda<br>para el escenario 4 |              |              |              |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                           | VAN patrón 1                                                                | VAN patrón 2 | VAN patrón 3 | VAN patrón 4 |
| Valor a fecha liquidación | 134.180.000 €                                                               | 51.600.000 € | 92.260.000 € | 11.660.000 € |
| Valor a fin de simulación | 110.690.000 €                                                               | 27.180.000 € | 86.630.000 € | 6.461.000 €  |

## 15.2- ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL ESCENARIO 4

### 15.2.1. Variación de la tasa de descuento del VAN entre un 3 y un 7%. Escenario 4.

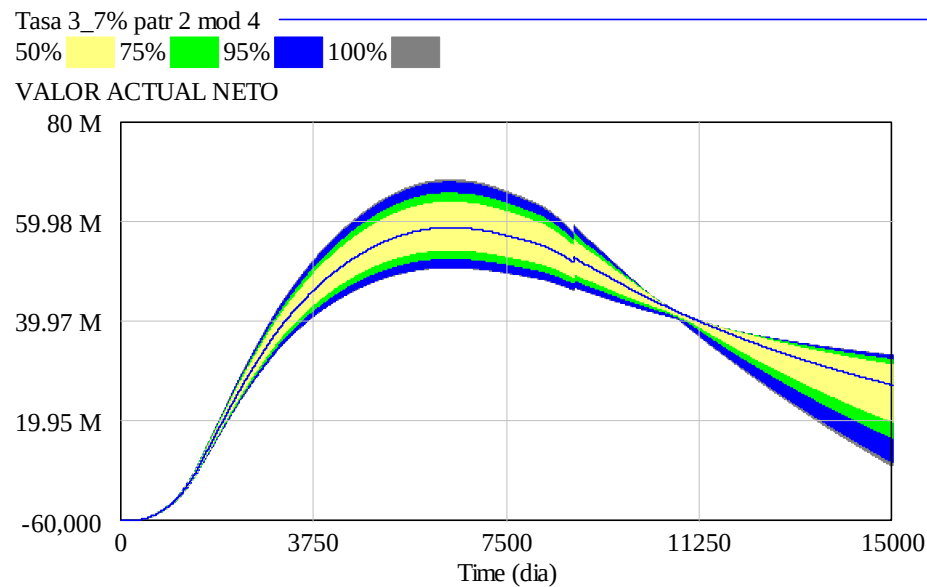
Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación de la **Tasa de descuento anual** entre un 3% y un 7%.

Gráfica 15-16 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 4).

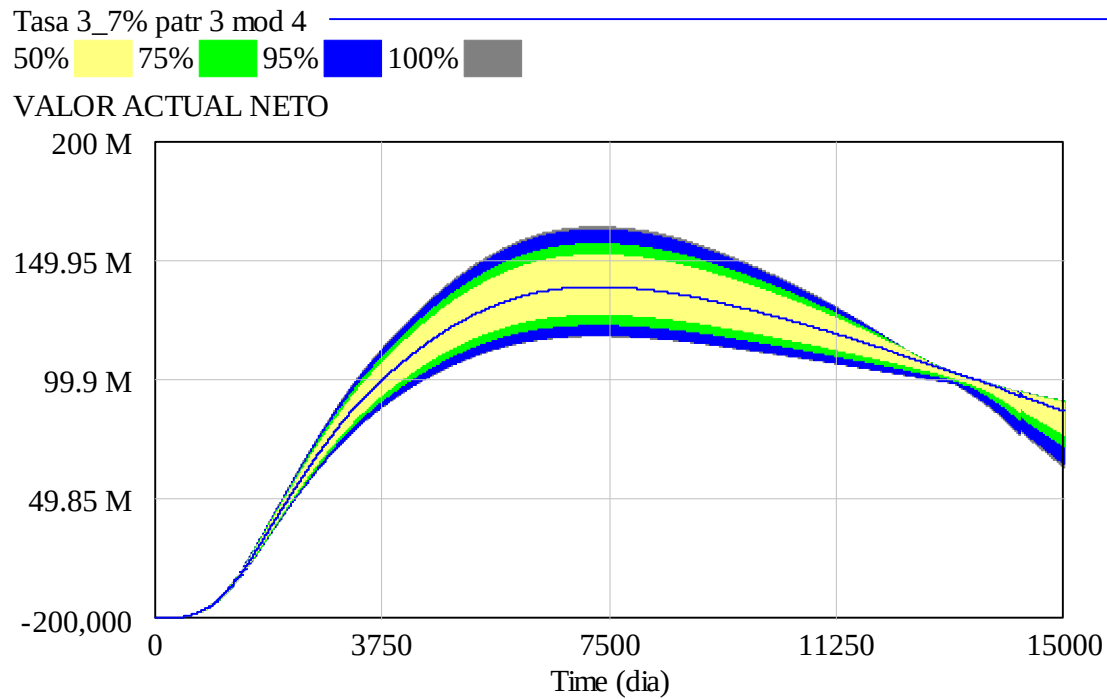




Gráfica 15-17 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 4).



Gráfica 15-18 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 4).



Gráfica 15-19 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 4).

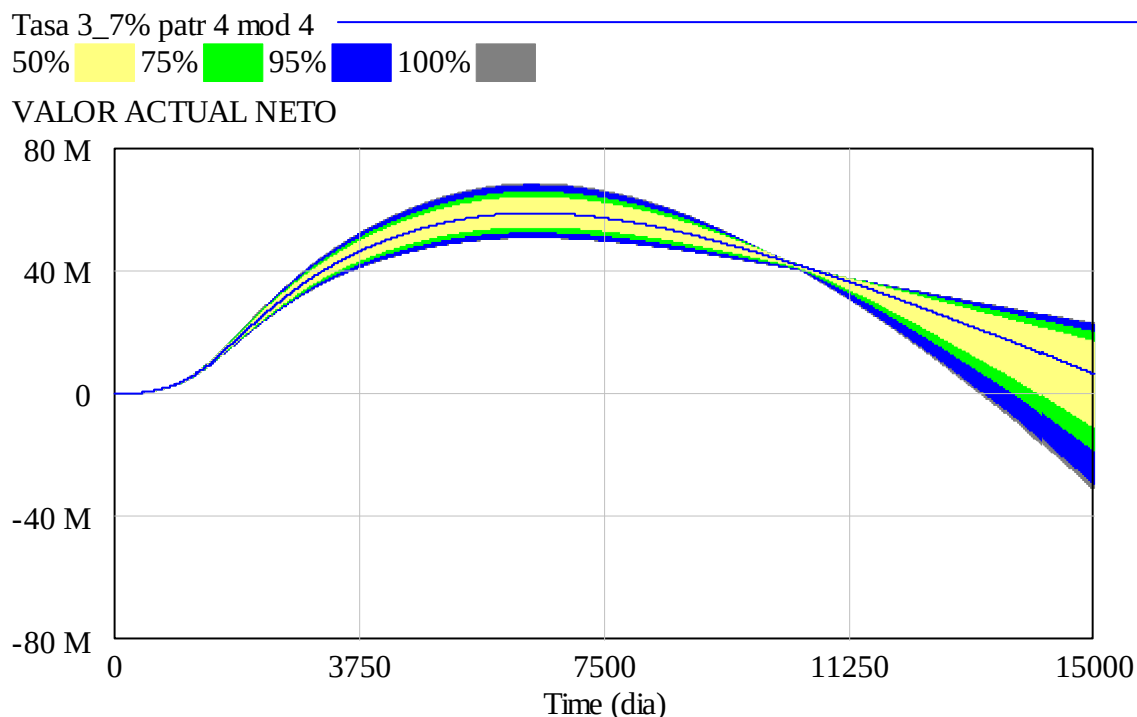


Tabla 15-2 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 4.

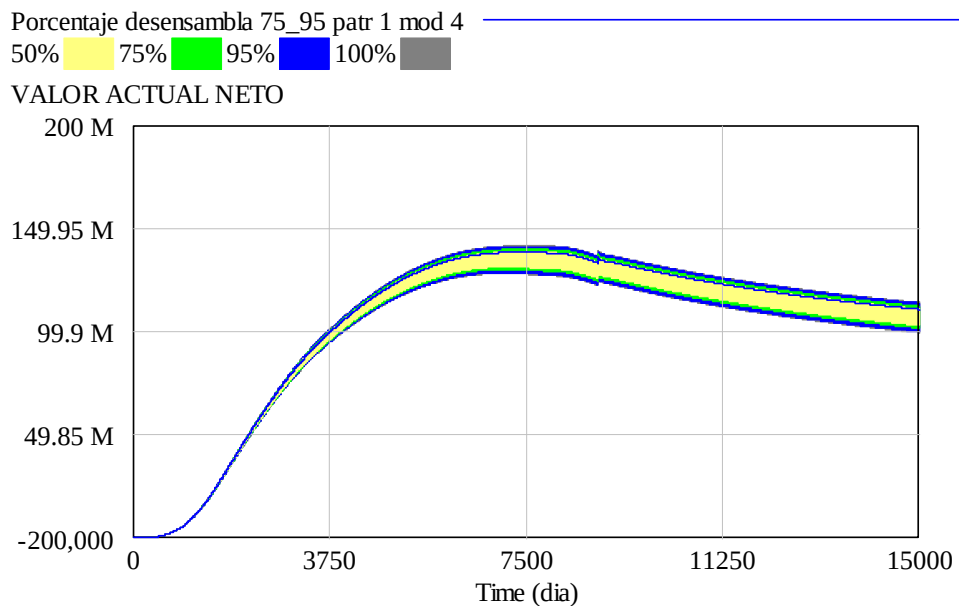
Sensibilidad de la Tasa de descuento anual entre un 3% y un 7%.

|                                 | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 4 |              |              |               |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|---------------|
|                                 | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2 | VAN patrón 3 | VAN patrón 4  |
| Valor a fecha liquidación (3 %) | 153.480.000 €                                                            | 57.300.000 € | 75.450.000 € | -19.900.000 € |
| Valor a fecha liquidación (7 %) | 112.600.000 €                                                            | 46.070.000 € | 93.390.000 € | 25.250.000 €  |
| Valor a fin de simulación (3 %) | 108.280.000 €                                                            | 10.640.000 € | 62.700.000 € | -31.670.000 € |
| Valor a fin de simulación (7 %) | 100.100.000 €                                                            | 33.180.000 € | 90.910.000 € | 22.950.000 €  |

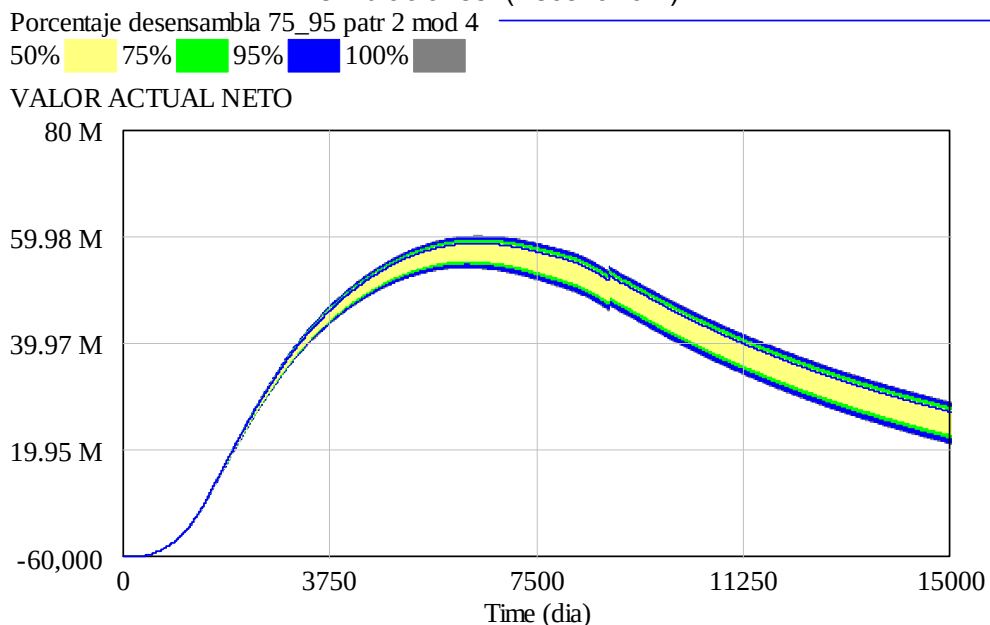
### 15.2.2. Variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos entre el 75 y 95%. Escenario 4.

Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación del **porcentaje de desensamblados sin defectos** entre un 75 y un 95%.

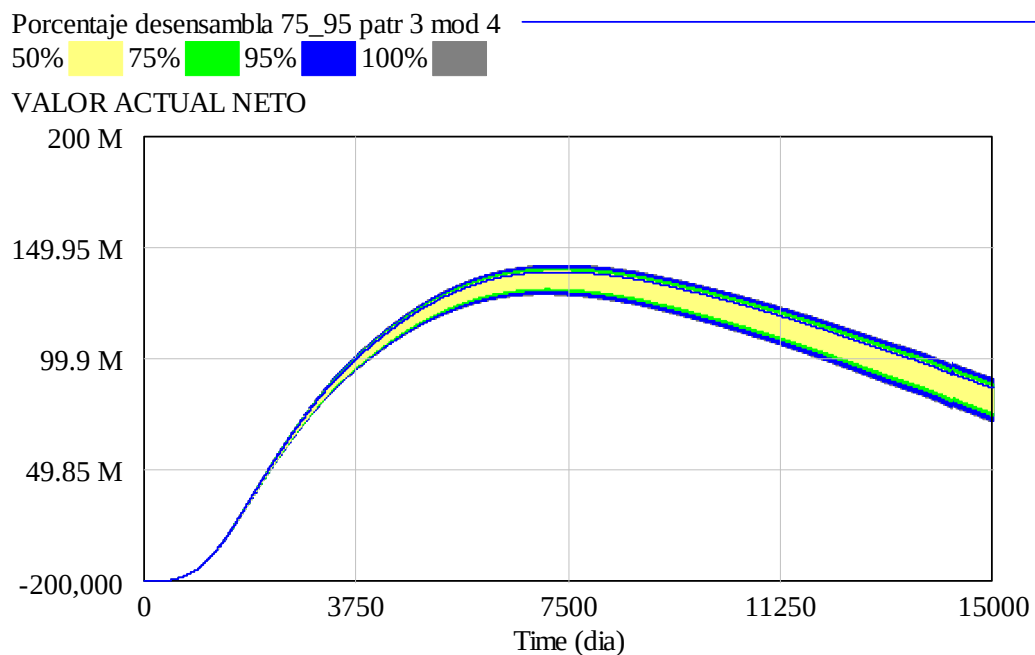
Gráfica 15-20 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de Porcentaje de desensamblados sin defectos considerándolo uniformemente distribuido entre el 75% y el 95% con 200 simulaciones. (Escenario 4).



Gráfica 15-21 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de Porcentaje de desensamblados sin defectos considerándolo uniformemente distribuido entre el 75% y el 95% con 200 simulaciones. (Escenario 4).



Gráfica 15-22 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de Porcentaje de desensamblados sin defectos considerándolo uniformemente distribuido entre el 75% y el 95% con 200 simulaciones. (Escenario 4).



Gráfica 15-23 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de Porcentaje de desensamblados sin defectos considerándolo uniformemente distribuido entre el 75% y el 95% con 200 simulaciones. (Escenario 4).

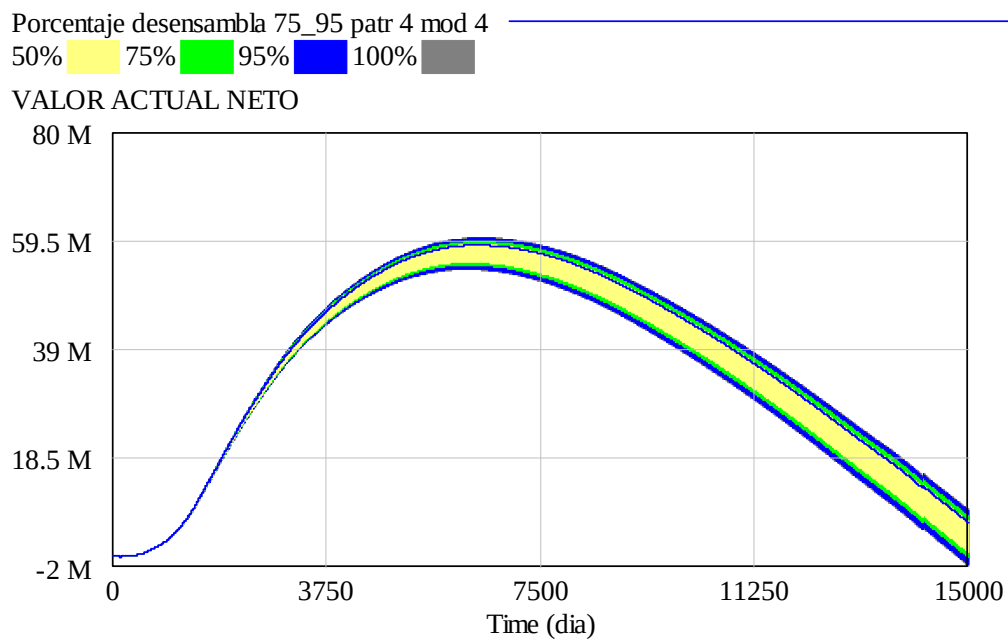


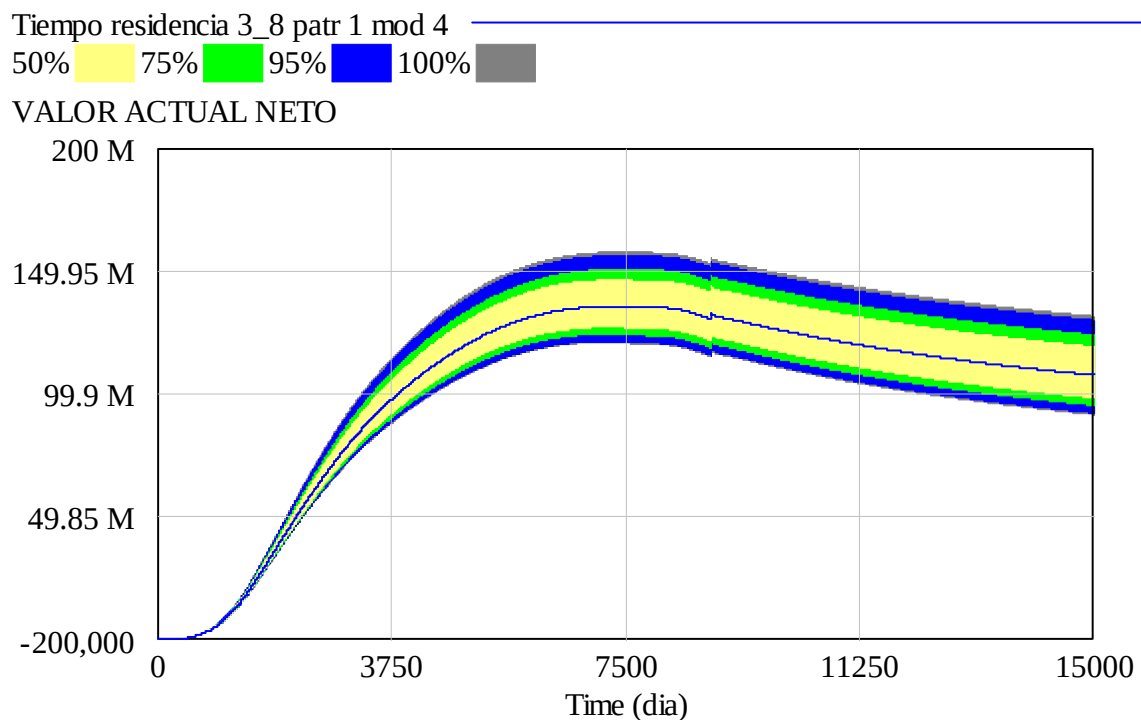
Tabla 15-3 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 4.  
Sensibilidad del Porcentaje de Desensamblados sin defectos entre el 75% y el 95%.

|                                  | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 4 |              |              |              |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                                  | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2 | VAN patrón 3 | VAN patrón 4 |
| Valor a fecha liquidación (75 %) | 120.670.000 €                                                            | 46.050.000 € | 77.190.000 € | 3.670.000 €  |
| Valor a fecha liquidación (95 %) | 134.400.000 €                                                            | 53.260.000 € | 96.760.000 € | 14.050.000 € |
| Valor a fin de simulación (75 %) | 96.610.000 €                                                             | 21.110.000 € | 71.260.000 € | -1.738.000 € |
| Valor a fin de simulación (95 %) | 110.810.000 €                                                            | 28.980.000 € | 91.210.000 € | 8.906.000 €  |

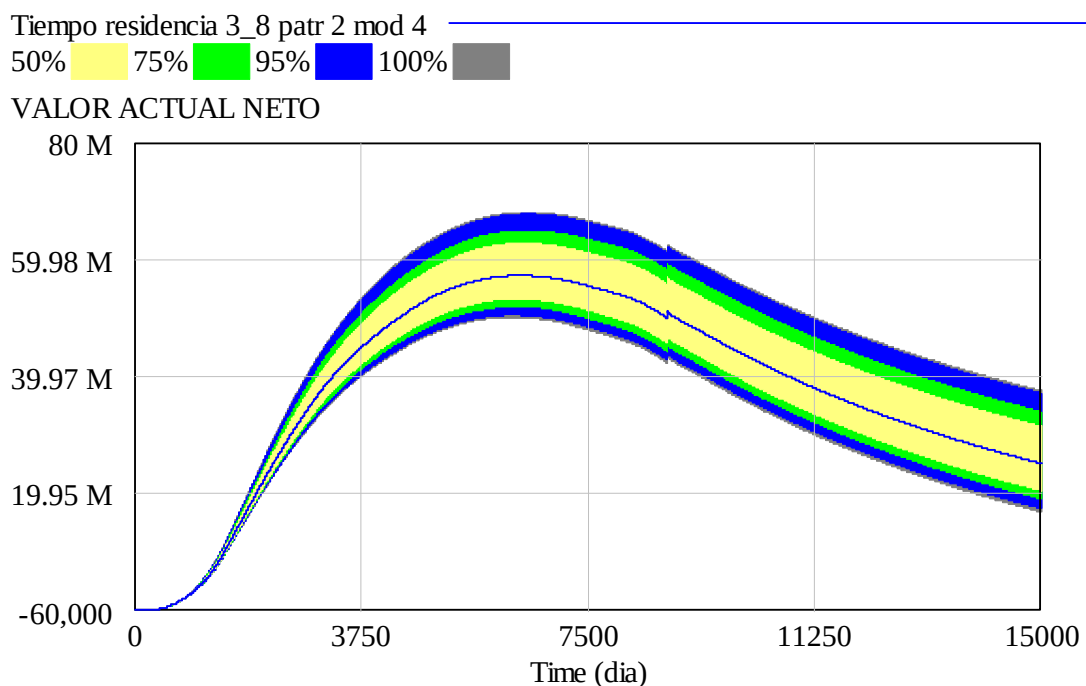
### 15.2.3. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años. Escenario 4.

Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación del **tiempo de residencia** entre 3 y 8 años.

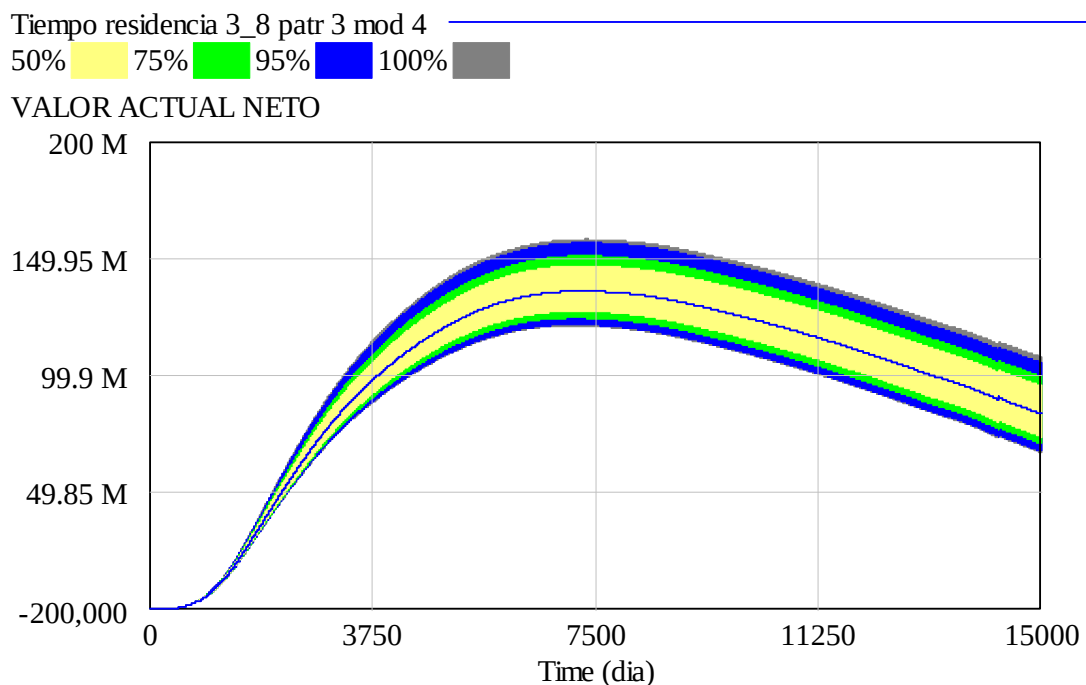
Gráfica 15-24 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 4).



Gráfica 15-25 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 4).



Gráfica 15-26 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 4).



Gráfica 15-27 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 4).

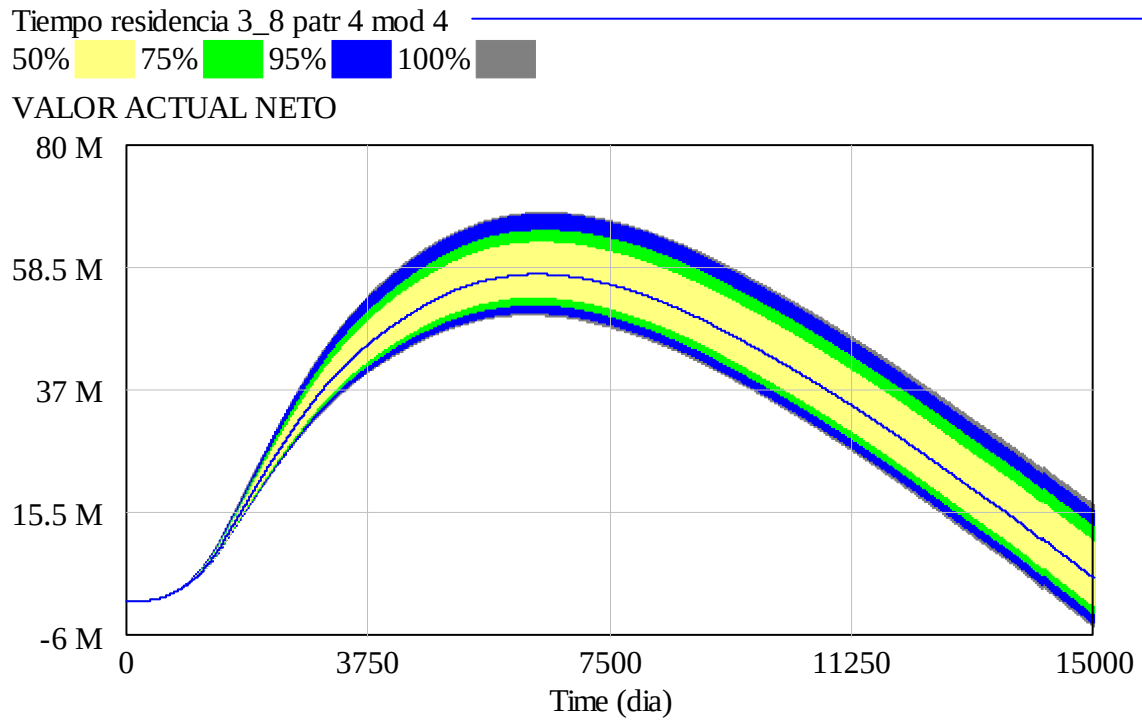


Tabla 15-4 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 4.  
Sensibilidad del Tiempo de residencia entre 3 y 8 años.

|                                    | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 4 |              |               |              |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|                                    | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2 | VAN patrón 3  | VAN patrón 4 |
| Valor a fecha liquidación (3 años) | 154.250.000 €                                                            | 62.070.000 € | 113.080.000 € | 22.100.000 € |
| Valor a fecha liquidación (8 años) | 116.190.000 €                                                            | 42.460.000 € | 72.950.000 €  | 1.336.000 €  |
| Valor a fin de simulación (3 años) | 131.820.000 €                                                            | 38.180.000 € | 107.760.000 € | 17.090.000 € |
| Valor a fin de simulación (8 años) | 91.660.000 €                                                             | 17.330.000 € | 67.060.000 €  | -3.957.000 € |

### **15.3. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DEL ESCENARIO 4**

#### **15.3.1. Conclusiones generales sobre el modelo (Escenario 4)**

Del comportamiento del modelo en este escenario 4 se deduce que:

- a) El modelo representa cómo evoluciona el ratio de compra de materiales a medida que se comienza a disponer de materiales canibalizables a través del ratio de canibalización.
- b) El modelo permite la venta de materiales desensamblados a mercados secundarios a precios reducidos.
- c) El modelo representa el flujo de materiales provenientes del desensamblado de productos teniendo en cuenta las posibles mermas por la aparición de materiales defectuosos.

#### **15.3.2. Conclusiones específicas sobre el modelo en el caso de estudio (Escenario 4)**

En el caso de estudio de las baterías de litio con los datos manejados se observa lo siguiente:

- a) Con los parámetros de simulación empleados se puede observar que todos los patrones de demanda producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4. Este hecho difiere de los estudios llevados a cabo por (Georgiadis, Vlachos 2004) en los que un patrón de demanda de mayor duración produce más beneficios. La razón para que esto se produzca reside en el hecho de que en el modelo de (Georgiadis, Vlachos 2004) los precios y costes permanecían constantes durante todo el período de simulación mientras que en el modelo que se ha desarrollado en este trabajo varían según las condiciones indicadas en el apartado 11.2 Datos y parámetros empleados.
- b) Del análisis de sensibilidad realizado sobre la tasa de descuento anual entre un 3% y un 7% se deduce que los patrones de demanda 1,3 y 2 producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4 produce pérdidas en algunas ocasiones para tasas de descuento bajas próximas al 3%.



- c) Del análisis de sensibilidad realizado sobre el tiempo de residencia entre 3 y 8 años todos los patrones de demanda producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.
- d) Del análisis de sensibilidad realizado sobre el Porcentaje de desensamblado sin defectos entre un 75% y un 95% se deduce que también todos los patrones de demanda producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.
- e) En el modelo propuesto y con los datos manejados se puede concluir que el escenario 4 produce mayores beneficios económicos que los escenarios 1 y 2; es decir, el establecimiento de un sistema de recogida junto con un sistema de desensamblado y canibalización de componentes reprocesado produce beneficios económicos por sí mismo para todos los patrones de demanda.
- f) De todos los factores empleados en el análisis de sensibilidad se deduce que el tiempo de residencia bajo produce los mayores beneficios de la simulación.





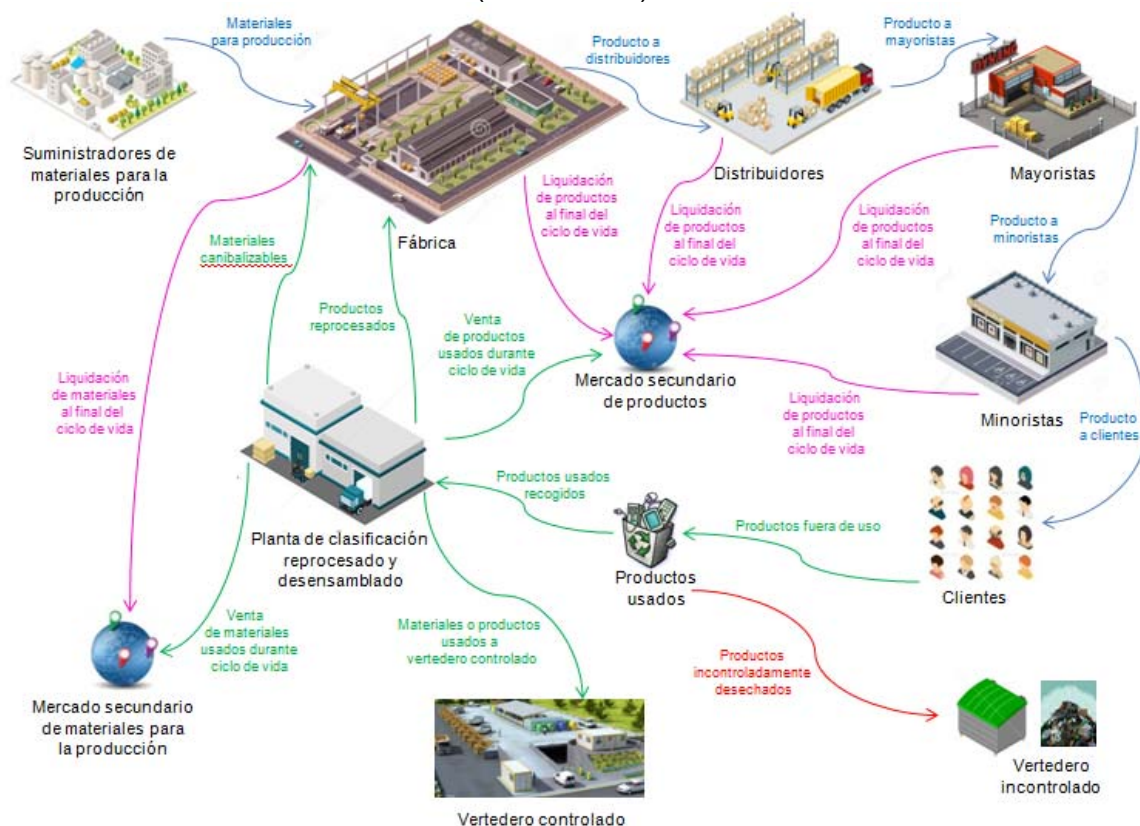
## 16. ESCENARIO 5. CADENA DE SUMINISTRO DIRECTA CON VERTIDO CONTROLADO DEL PRODUCTO USADO, REPROCESADO Y CANIBALIZACIÓN DE MATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN.

Este escenario es el más completo desde el punto de vista de la logística inversa ya que se emplean más alternativas de aprovechamiento de la cadena que en los anteriores escenarios.

Se configura el modelo para que trabaje la cadena directa, la recogida de productos, el reprocesado, la canibalización de componentes, la venta de productos en mercados secundarios, la venta de materiales en mercados secundarios y el vertido controlado.

El esquema general de la cadena de suministro sería el que aparece en la ilustración 16-1.

Ilustración 16-1 Esquema de red con vertido controlado de productos usados, el reprocesado de los mismos y la Canibalización de materiales para la producción.  
(Escenario 5)



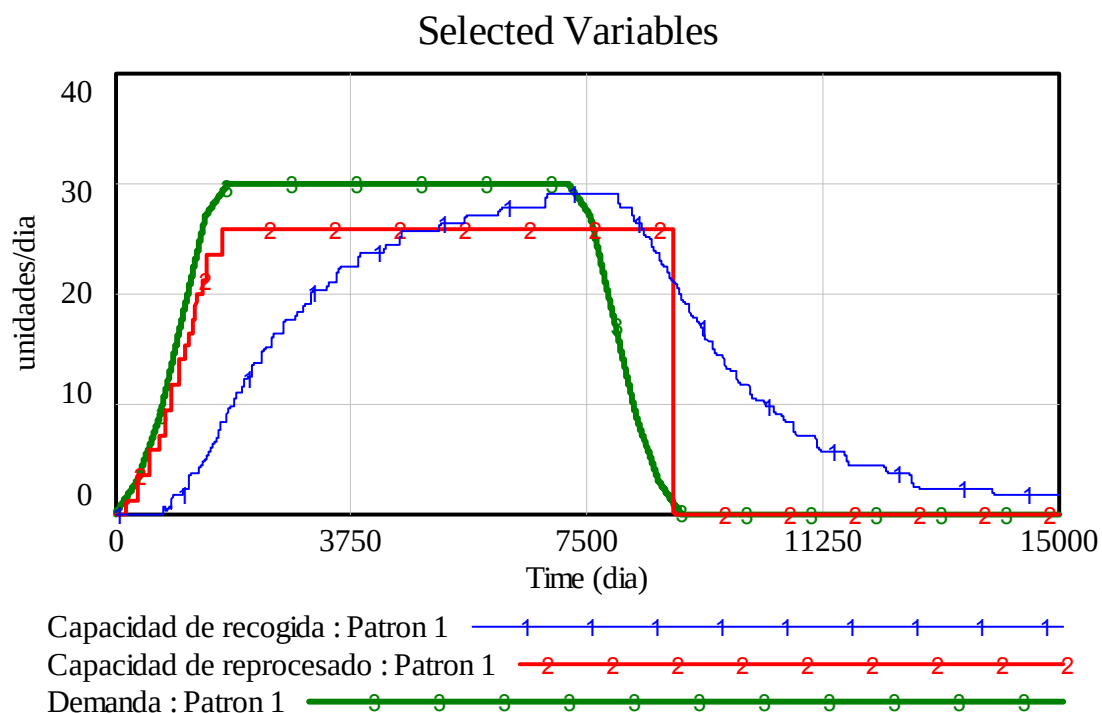
## 16.1. COMPORTAMIENTO DEL MODELO SEGÚN LOS PATRONES DE DEMANDA DEL PRODUCTO. (Escenario 5)

### 16.1.1. Comportamiento con patrón de demanda 1 (Escenario 5)

En la siguiente gráfica se muestra la comparativa entre la **demand**a del producto, la **capacidad de recogida** generada para la recuperación de los productos al final de su vida útil y la **capacidad de reprocesado** generada para poder realizar las labores de clasificación, reprocesado y desensamblado de productos.

Cabe destacar que mientras que la referencia para construir la **capacidad de recogida** son los **Productos usados**, la referencia para construir la **capacidad de reprocesado** son las **Ventas** lo que explica el desfase entre una y otra gráfica. Esto se ha considerado así para que una vez que se disponga de productos recogidos ya exista una determinada **capacidad de reprocesado**.

Gráfica 16-1 Comparativa de la Capacidad de recogida, la Capacidad de reprocesado y la Demanda para el patrón de demanda 1. (Escenario 5).



En este escenario los productos recogidos pueden seguir varios caminos simultáneos en función de las necesidades de la demanda y de los factores de error detectados una vez recogidos:

a) Se aprovechan directamente y se venden en mercados secundarios si están en buenas condiciones.

b) Se clasifican distinguiendo los que contienen errores de los que no y son reprocesados e ingresados en la cadena directa.

c) Son enviados a vertedero controlado si no hay posibilidad de aprovechamiento debido a su mal estado de conservación.

d) Son desensamblados en sus materiales básicos para poder ser canibalizados.

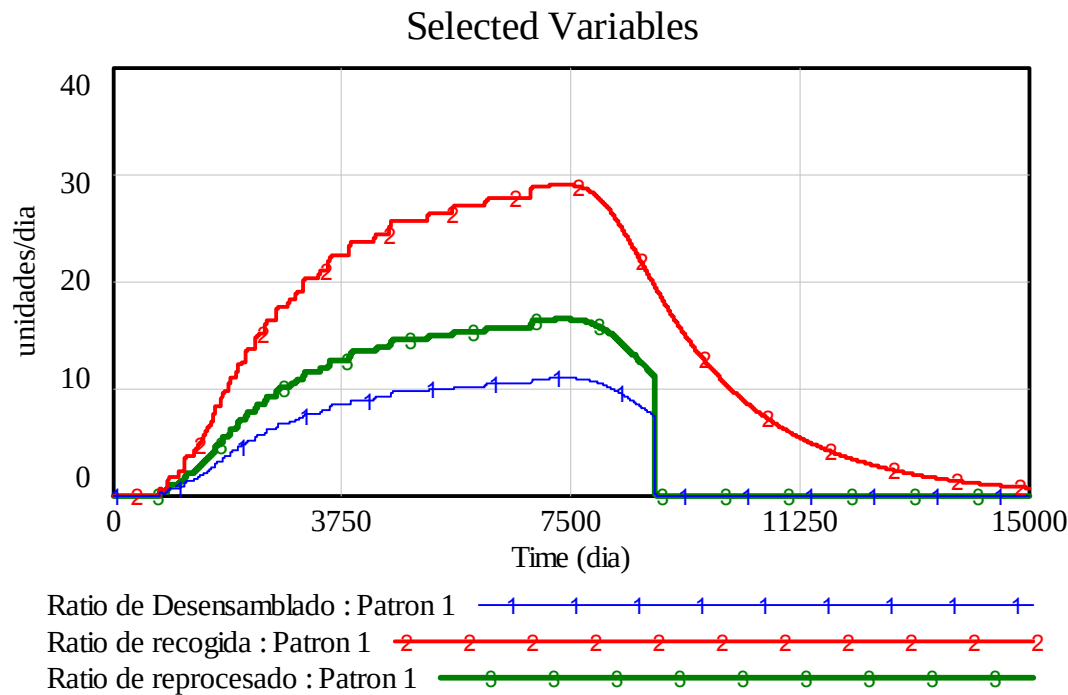
e) Los materiales que al desensamblarse se sean defectuosos son enviados a vertedero controlado.

f) Los materiales que al desensamblarse estén en buenas condiciones pueden ingresar a la cadena directa para reducir la necesidad de compra de materiales para producir.

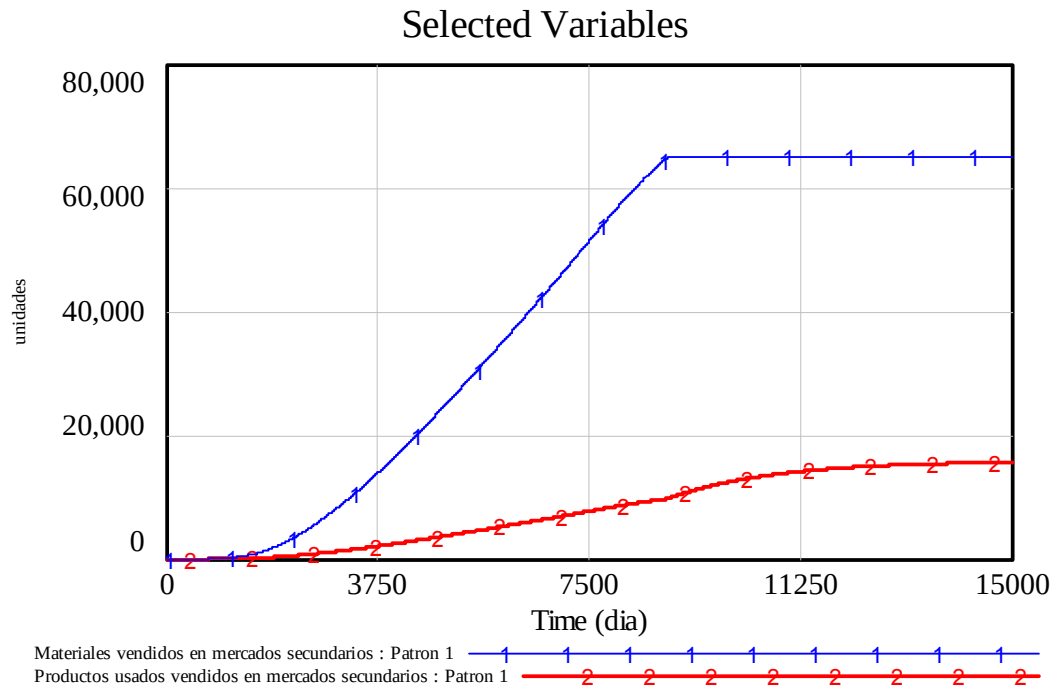
g) Los materiales que al desensamblarse estén en buenas condiciones pueden ser vendidos en mercados secundarios.

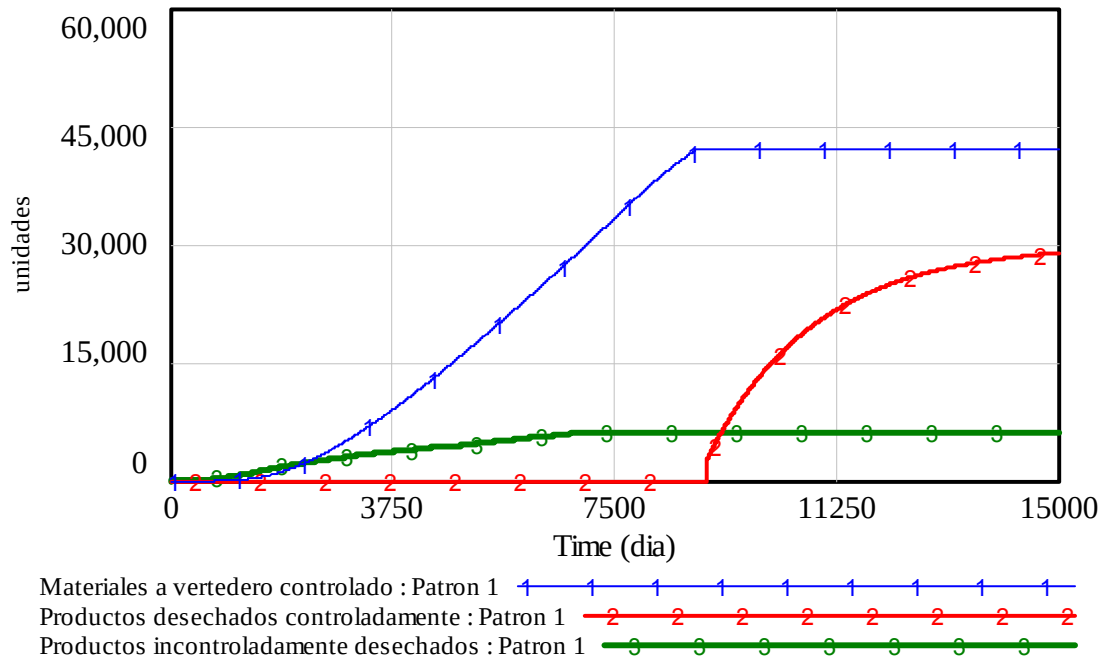
En la gráfica 16-2 se muestra la comparación entre el Ratio de recogida, el Ratio de desensamblado y el ratio de reprocesado.

Gráfica 16-2 Comparativa del Ratio de Desensamblado, Ratio de recogida y Ratio de reprocesado para el patrón de demanda 1. (Escenario 5).



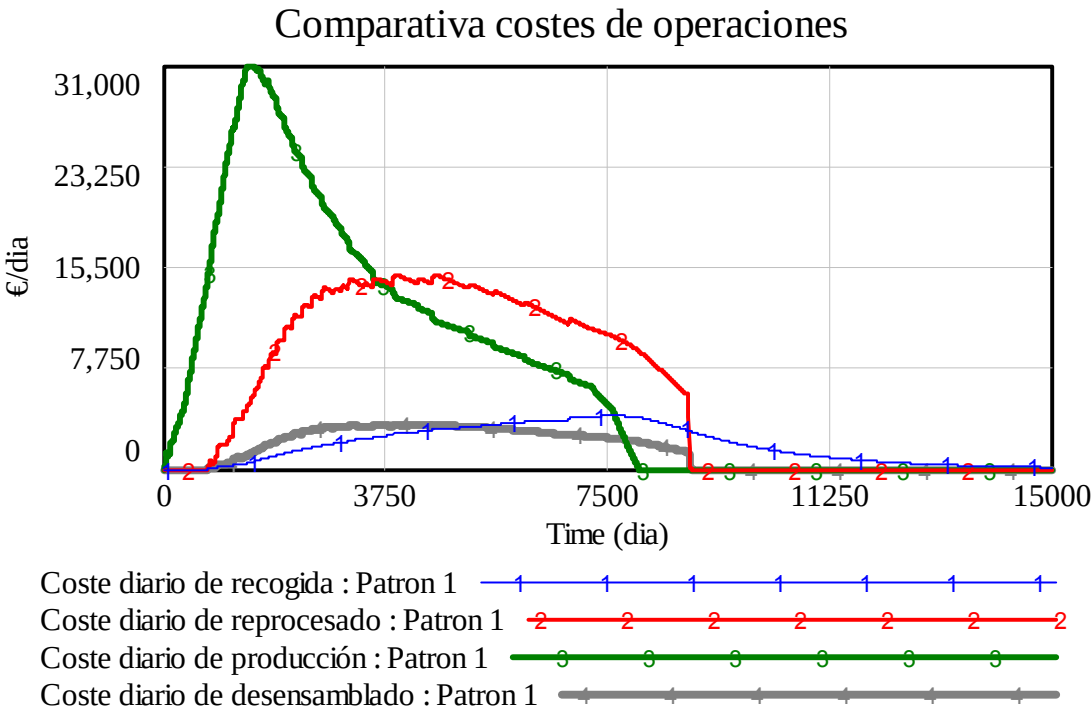
Gráfica 16-3 Comparativa de los Materiales y de los Productos usados vendidos en mercados secundarios para el patrón de demanda 1. (Escenario 5).



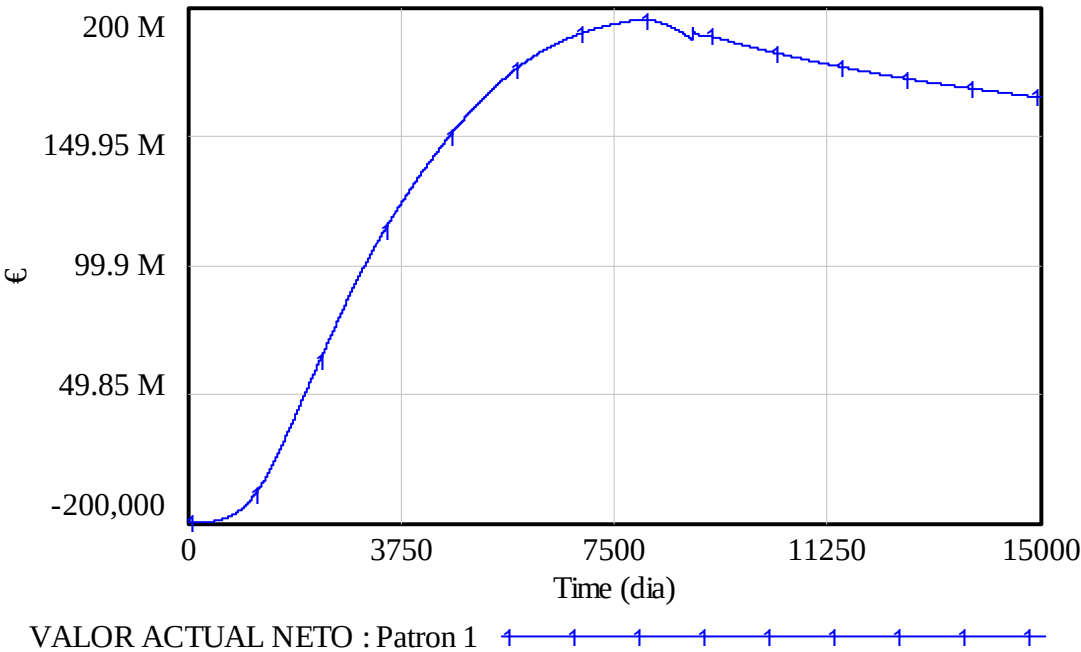




Gráfica 16-5 Comparativa de los costes de operaciones para el patrón de demanda 1. (Escenario 5).

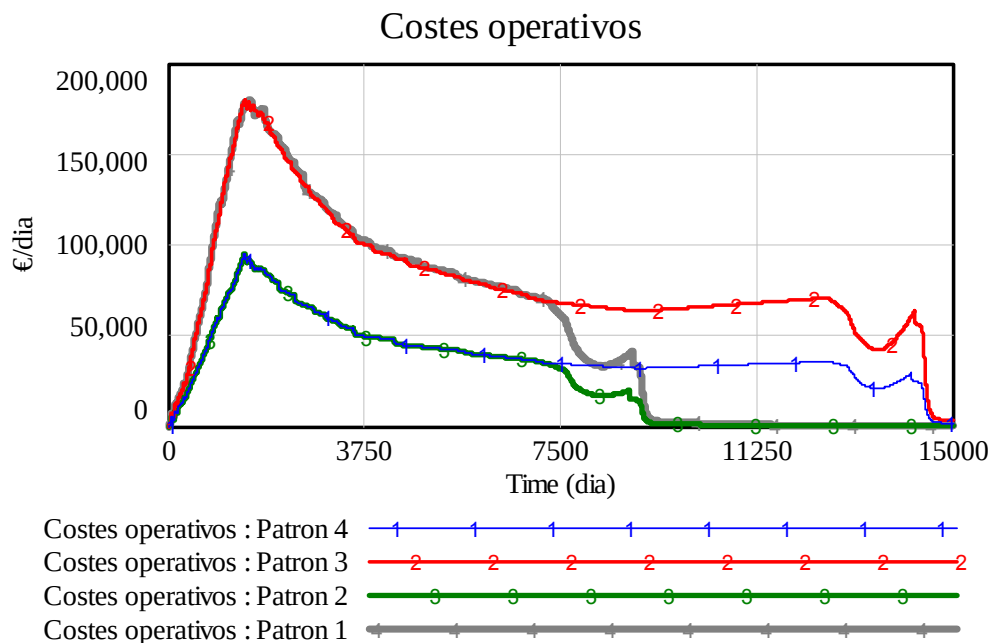


Gráfica 16-6 Valor actual neto para el patrón de demanda 1. (Escenario 5).

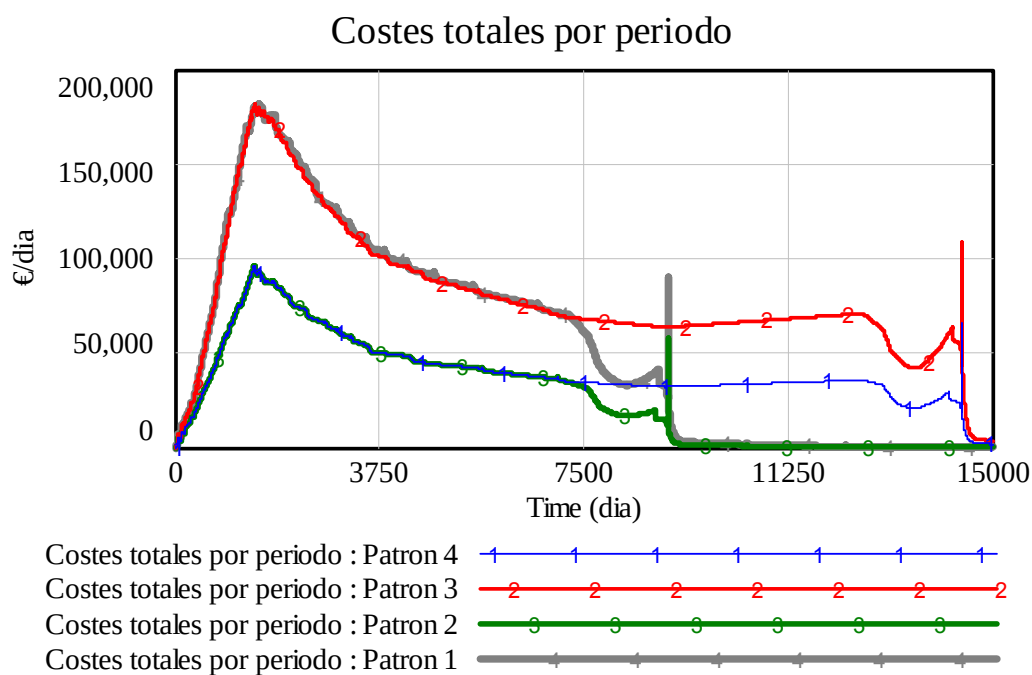


### 16.1.2- Comportamiento con los distintos patrones de demanda. (Escenario 5)

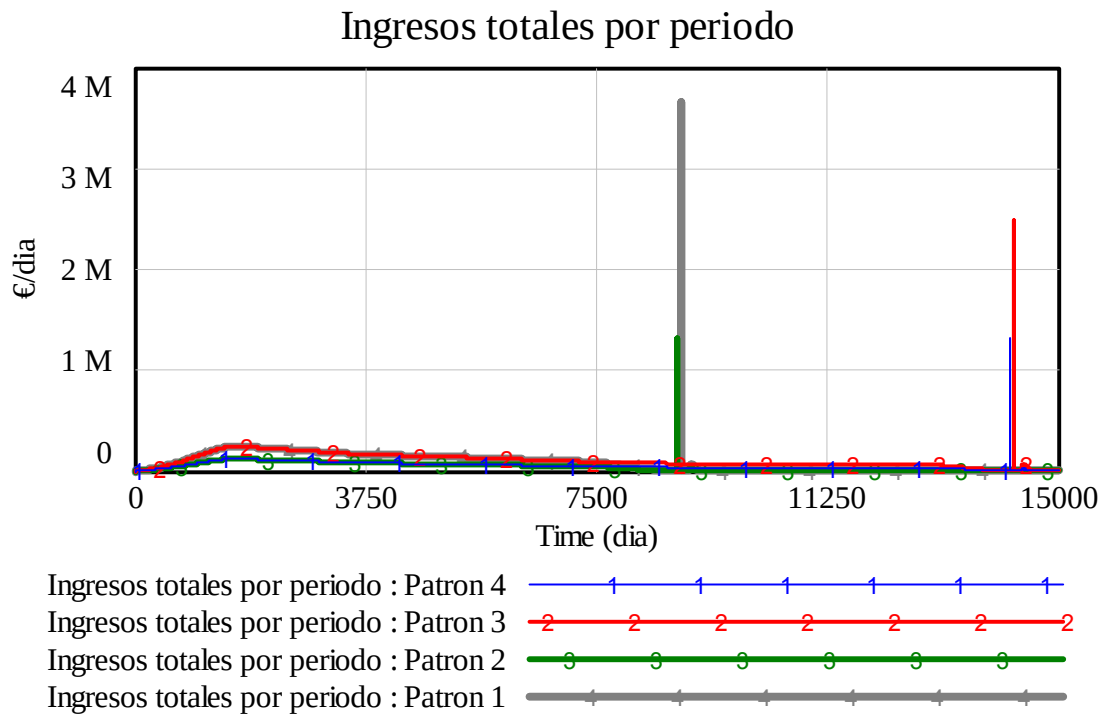
Gráfica 16-7 Costes operativos para los distintos patrones de demanda. (Escenario 5).



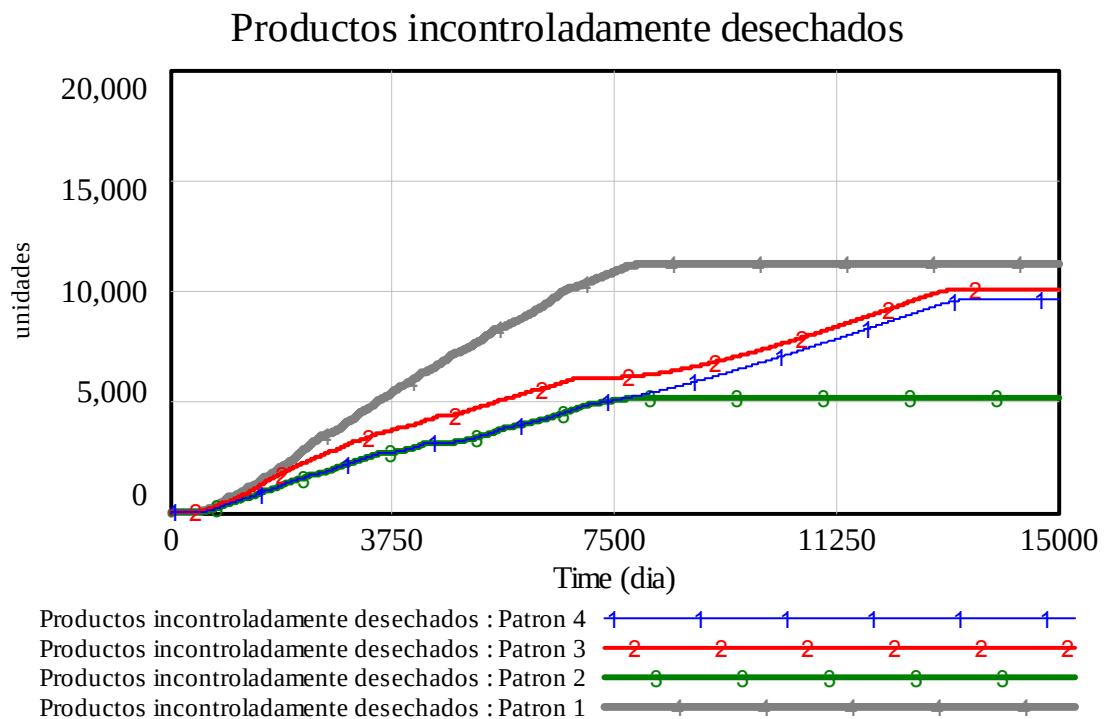
Gráfica 16-8 Costes totales por periodo para los distintos patrones de demanda. (Escenario 5).



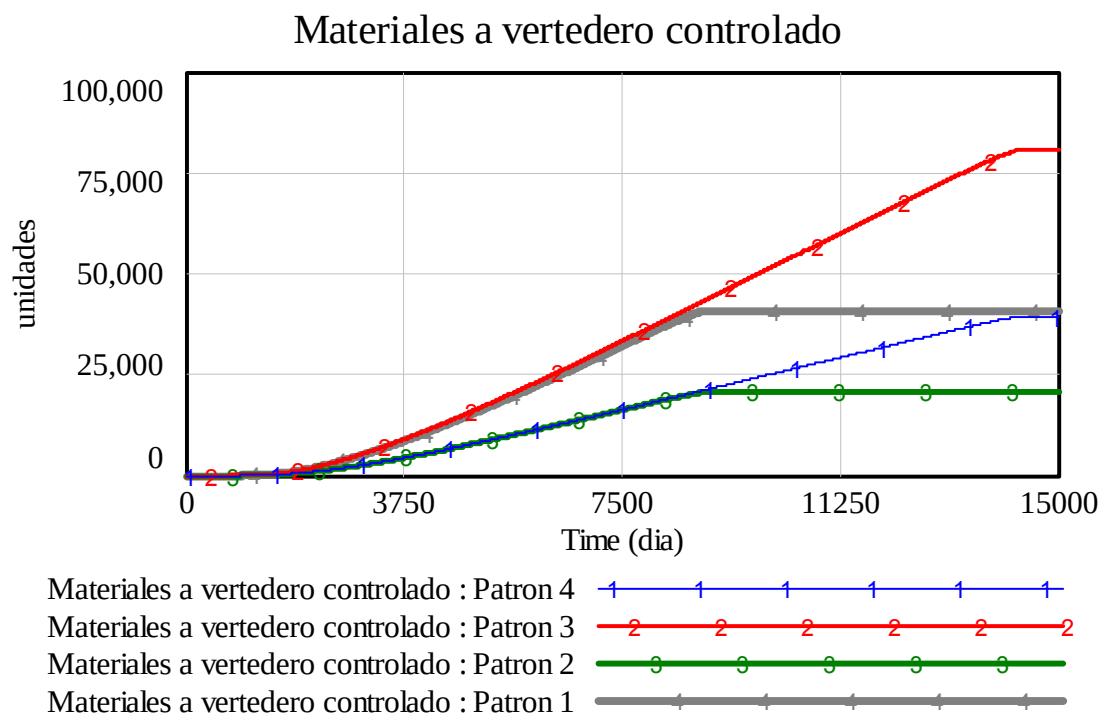
Gráfica 16-9 Ingresos totales por periodo para los distintos patrones de demanda. (Escenario 5).



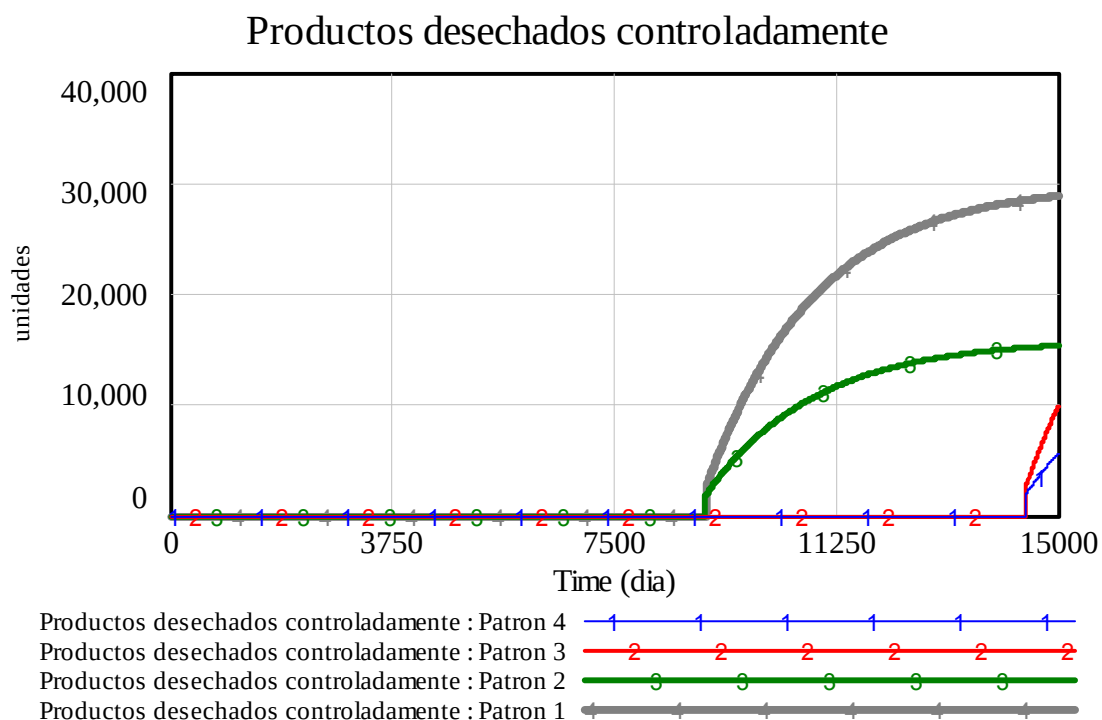
Gráfica 16-10 Productos incontroladamente desechados para los distintos patrones de demanda. (Escenario 5).



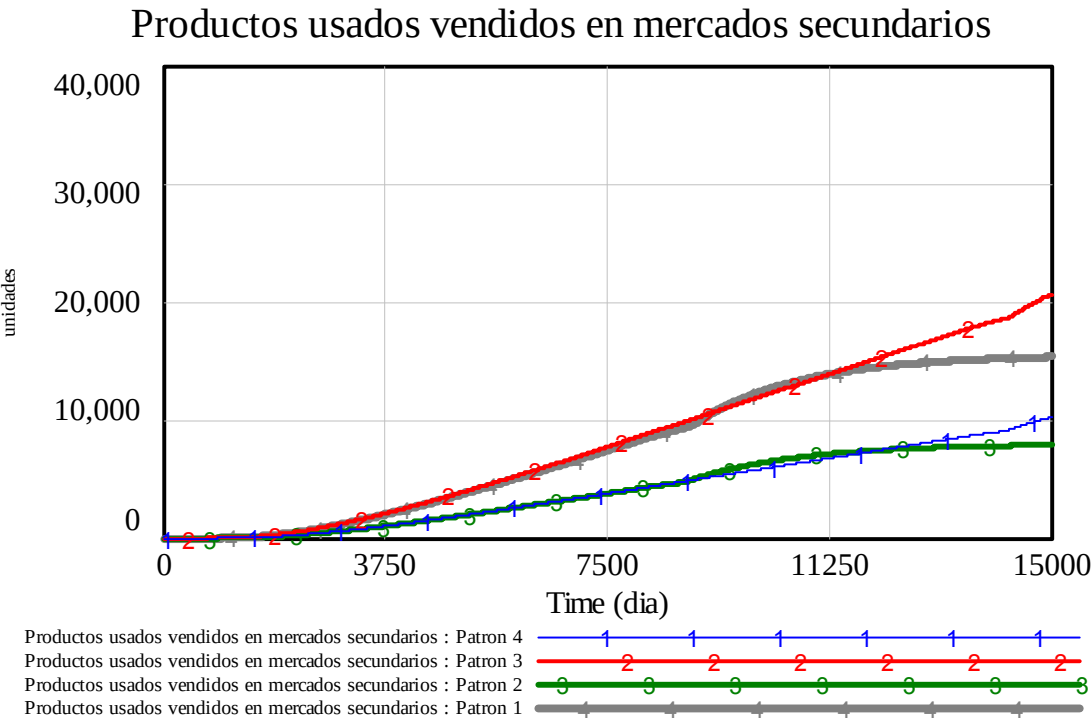
Gráfica 16-11 Materiales a vertedero controlado para los distintos patrones de demanda. Valores acumulados. (Escenario 5).



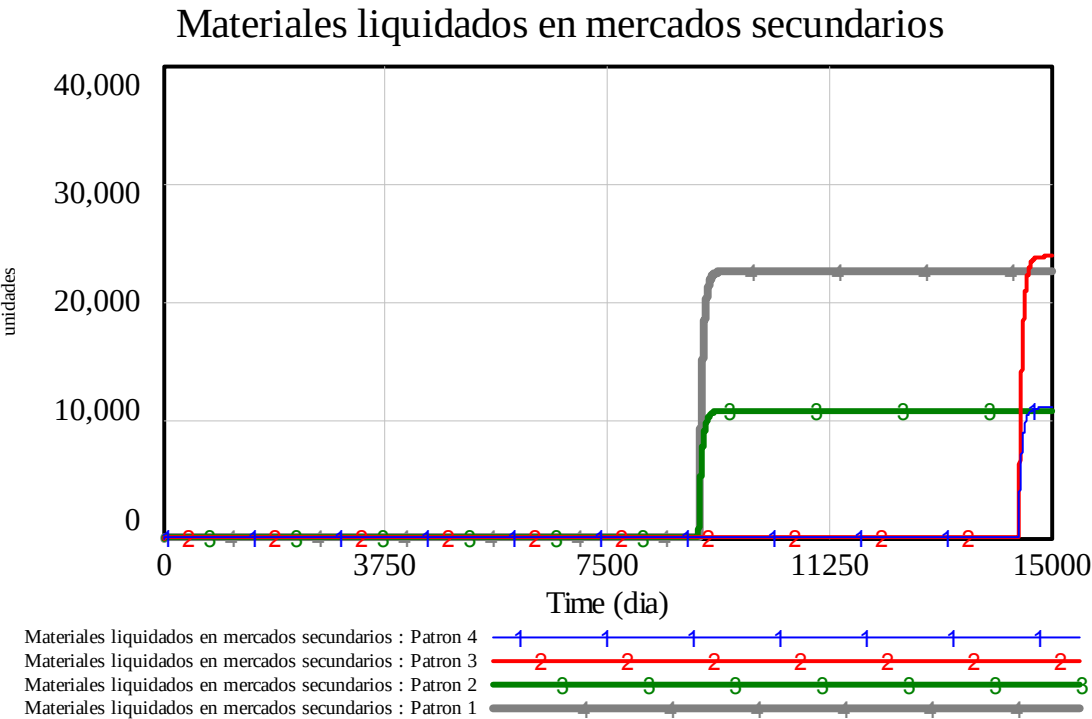
Gráfica 16-12 Productos desechados controladamente para los distintos patrones de demanda. Valores acumulados. (Escenario 5).



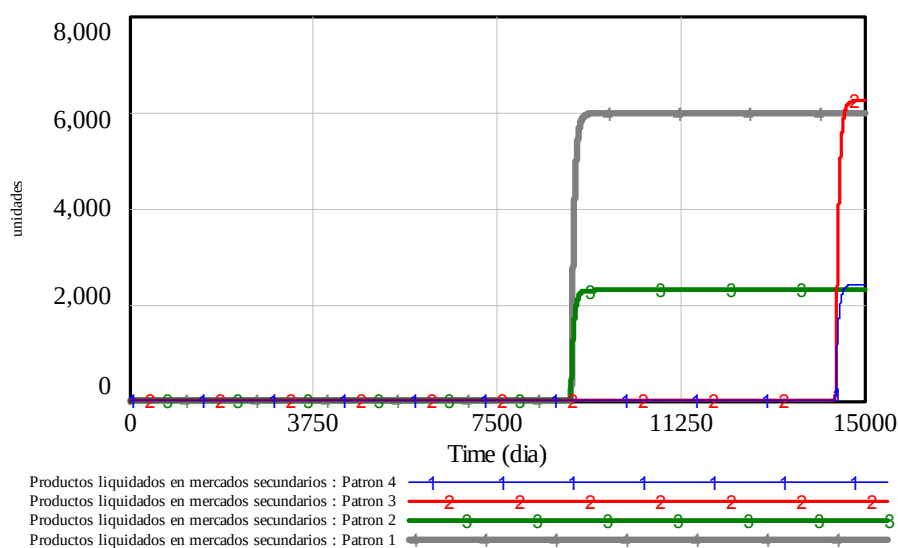
Gráfica 16-13 Productos usados vendidos en mercados secundarios para los distintos patrones de demanda. Valores acumulados. (Escenario 5).



Gráfica 16-14 Materiales liquidados en mercados secundarios para los distintos patrones de demanda. Valores acumulados. (Escenario 5).



Gráfica 16-15 Productos liquidados en mercados secundarios para los distintos patrones de demanda. Valores acumulados. (Escenario 5).



Gráfica 16-16 VAN para los distintos patrones de demanda. (Escenario 5).

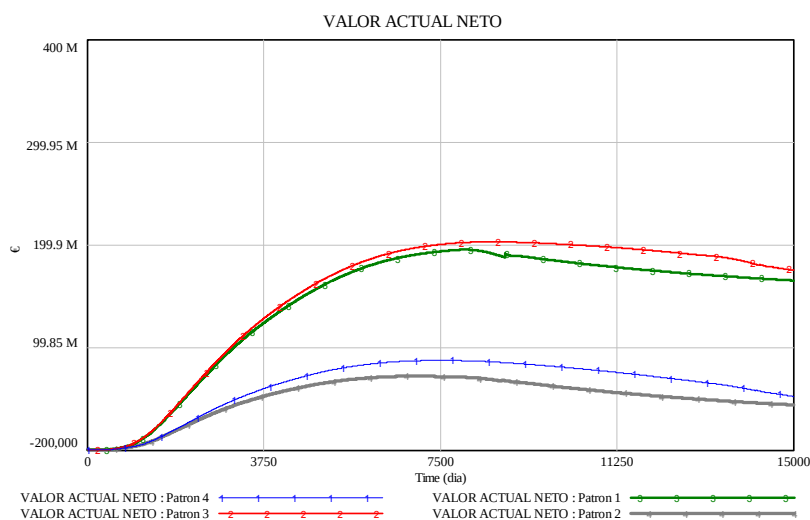


Tabla 16-1 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 5

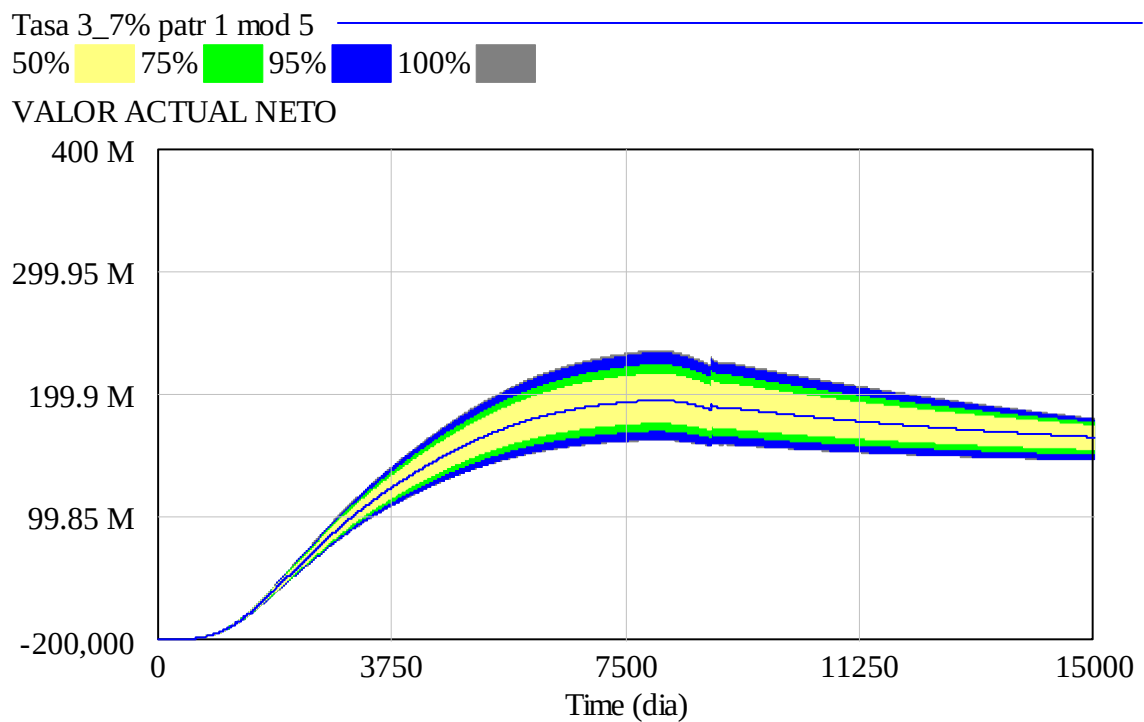
|                                  | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 5 |              |               |              |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|                                  | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2 | VAN patrón 3  | VAN patrón 4 |
| <b>Valor a fecha liquidación</b> | 189.160.000 €                                                            | 66.710.000 € | 179.180.000 € | 56.350.000 € |
| <b>Valor a fin de simulación</b> | 165.050.000 €                                                            | 43.760.000 € | 174.930.000 € | 52.110.000 € |

## 16.2- ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL ESCENARIO 5

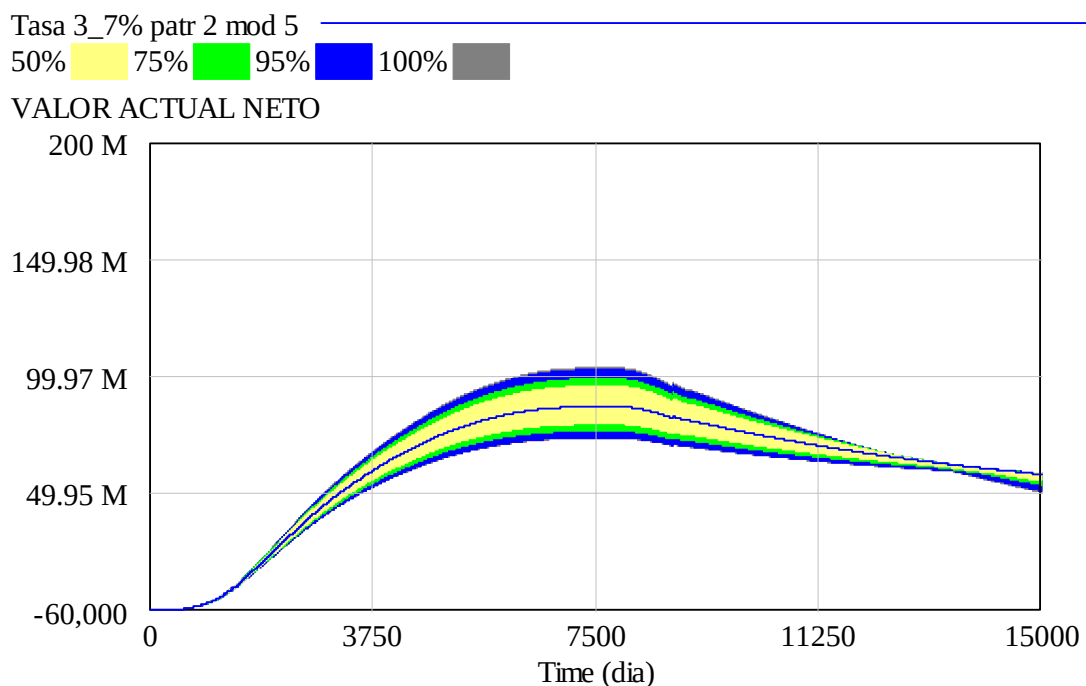
### 16.2.1. Variación de la tasa de descuento del VAN entre un 3 y un 7%. Escenario 5.

Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación de la **Tasa de descuento anual** entre un 3% y un 7%.

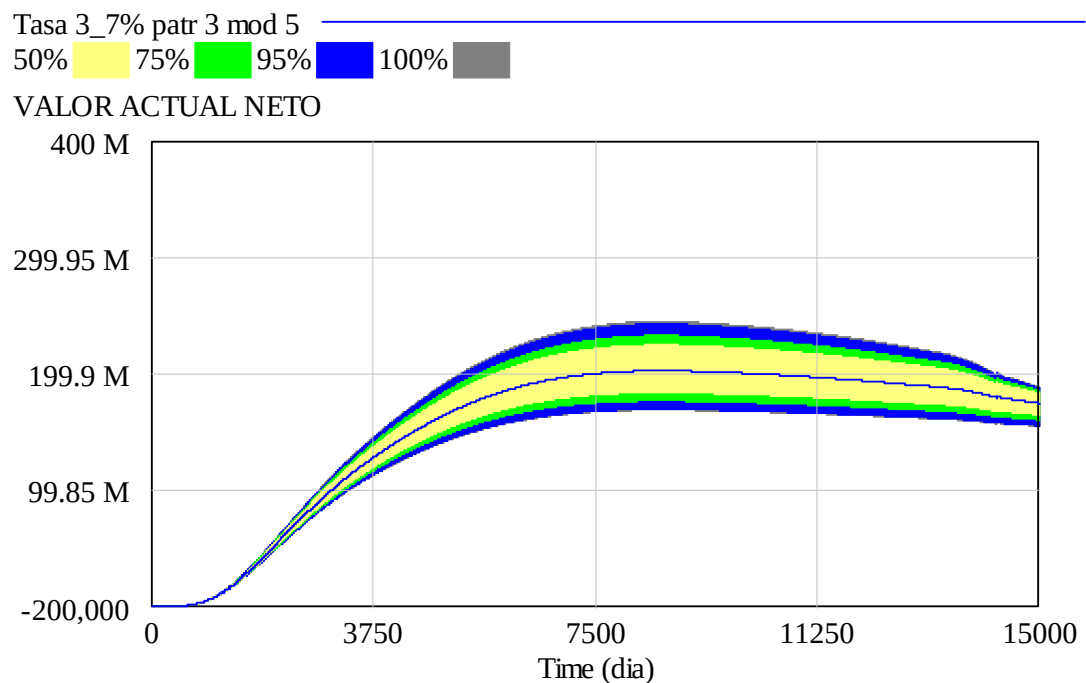
Gráfica 16-17 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-18 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-19 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 5).





Gráfica 16-20 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 5).

Tasa 3\_7% patr 4 mod 5

50% 75% 95% 100%

VALOR ACTUAL NETO

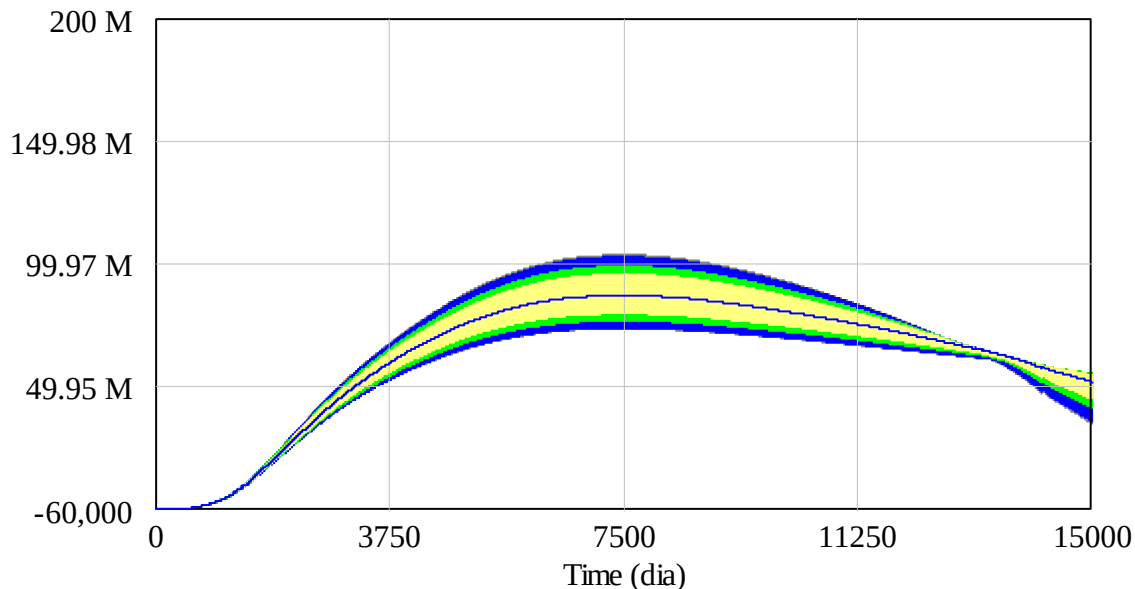


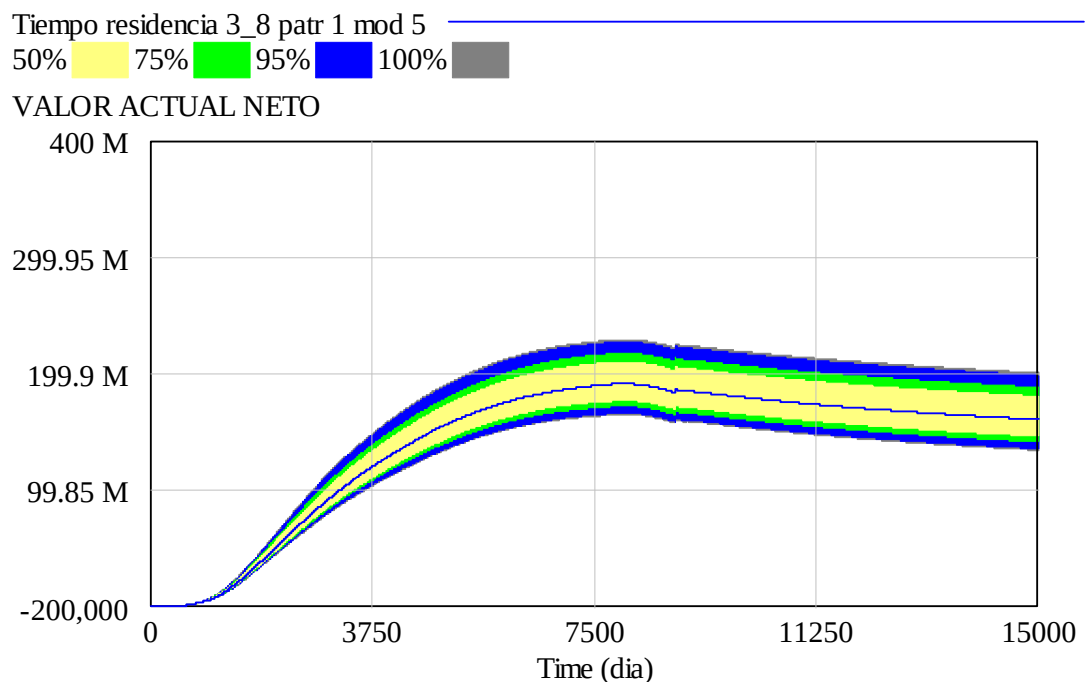
Tabla 16-2 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 5. Sensibilidad de la Tasa de descuento anual entre un 3% y un 7%.

|                                 | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 5 |              |               |              |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|                                 | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2 | VAN patrón 3  | VAN patrón 4 |
| Valor a fecha liquidación (3 %) | 226.480.000 €                                                            | 76.630.000 € | 198.350.000 € | 15.510.000 € |
| Valor a fecha liquidación (7 %) | 158.910.000 €                                                            | 58.000.000 € | 156.970.000 € | 41.880.000 € |
| Valor a fin de simulación (3 %) | 180.460.000 €                                                            | 37.710.000 € | 188.750.000 € | 5.523.000 €  |
| Valor a fin de simulación (7 %) | 146.270.000 €                                                            | 45.900.000 € | 155.090.000 € | 39.930.000 € |

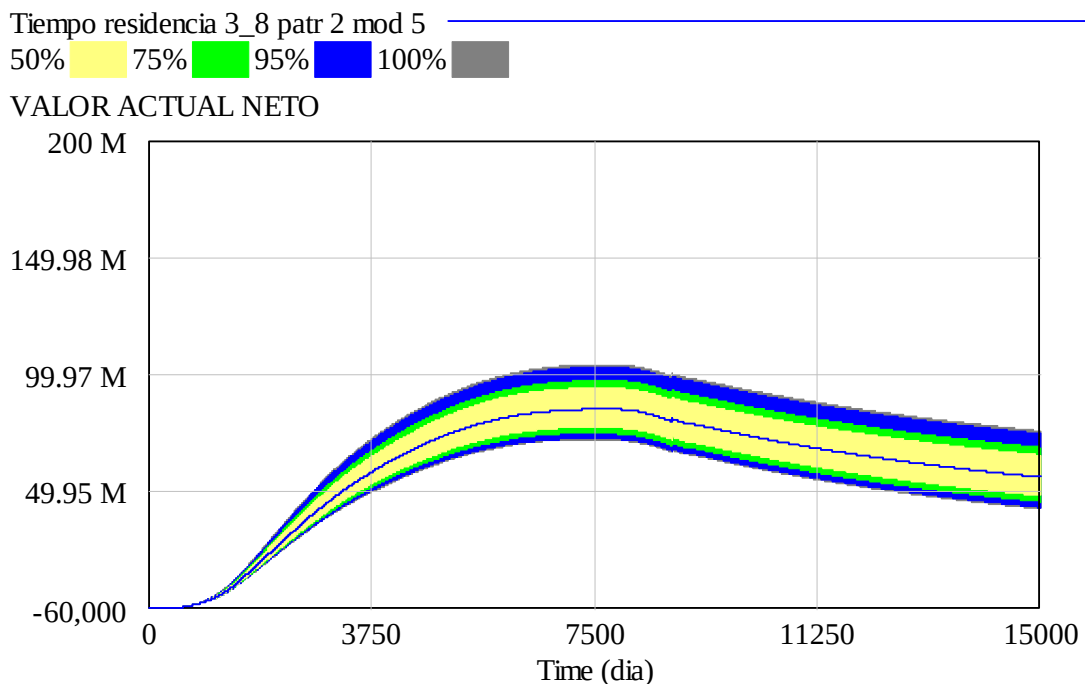
### 16.2.2. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años. Escenario 5.

Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación del **tiempo de residencia** entre 3 y 8 años.

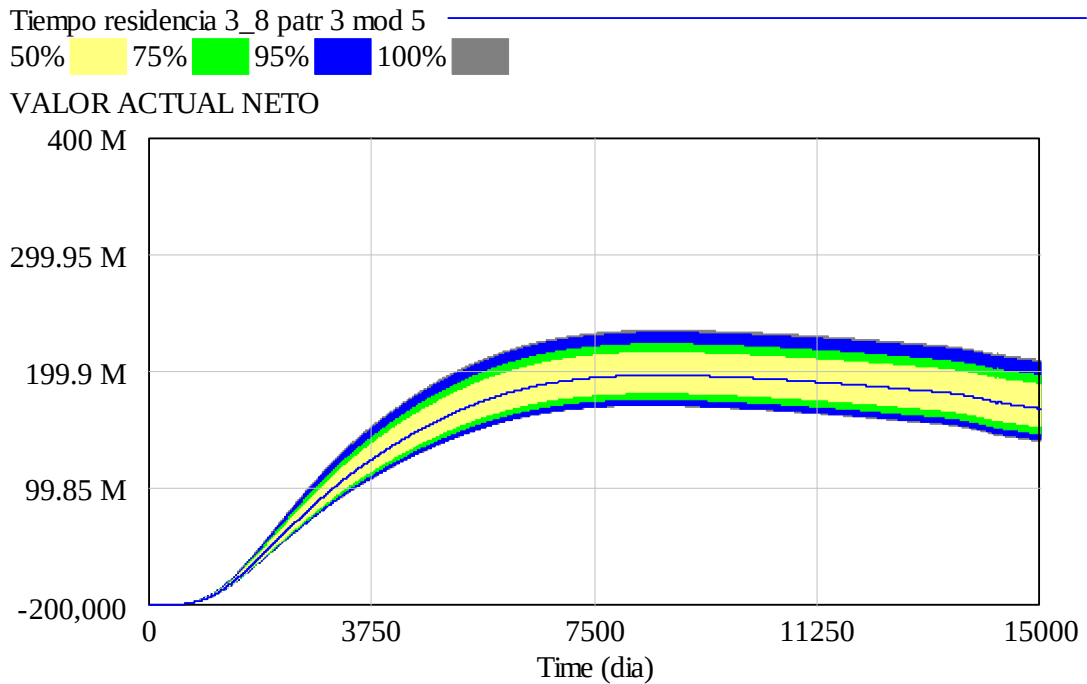
Gráfica 16-21 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-22 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-23 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-24 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).

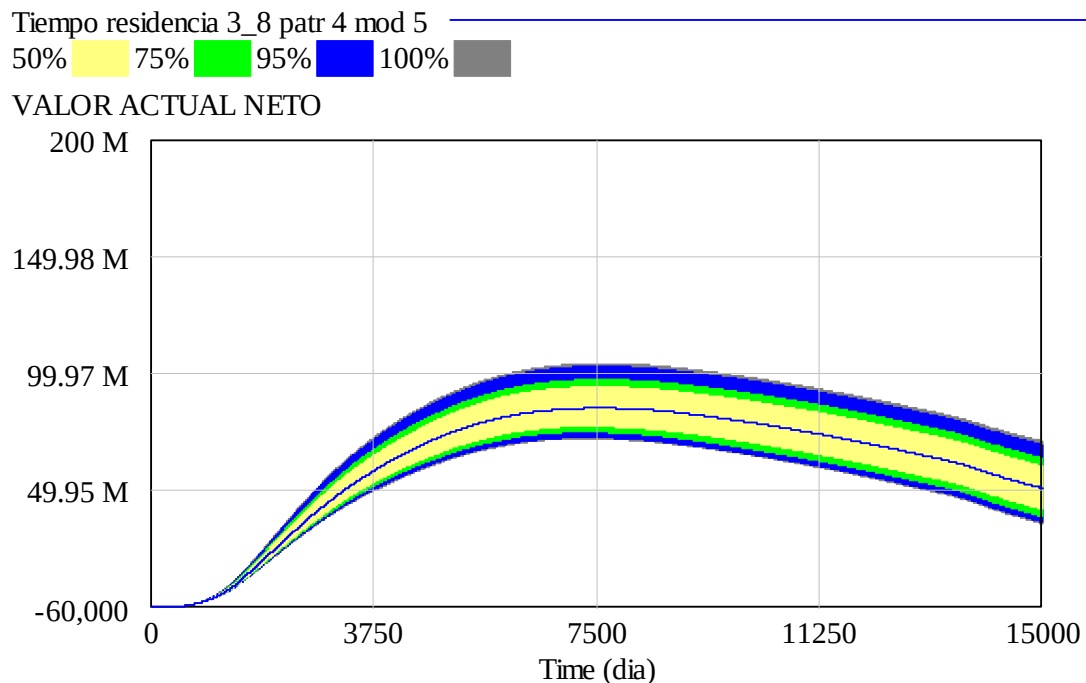


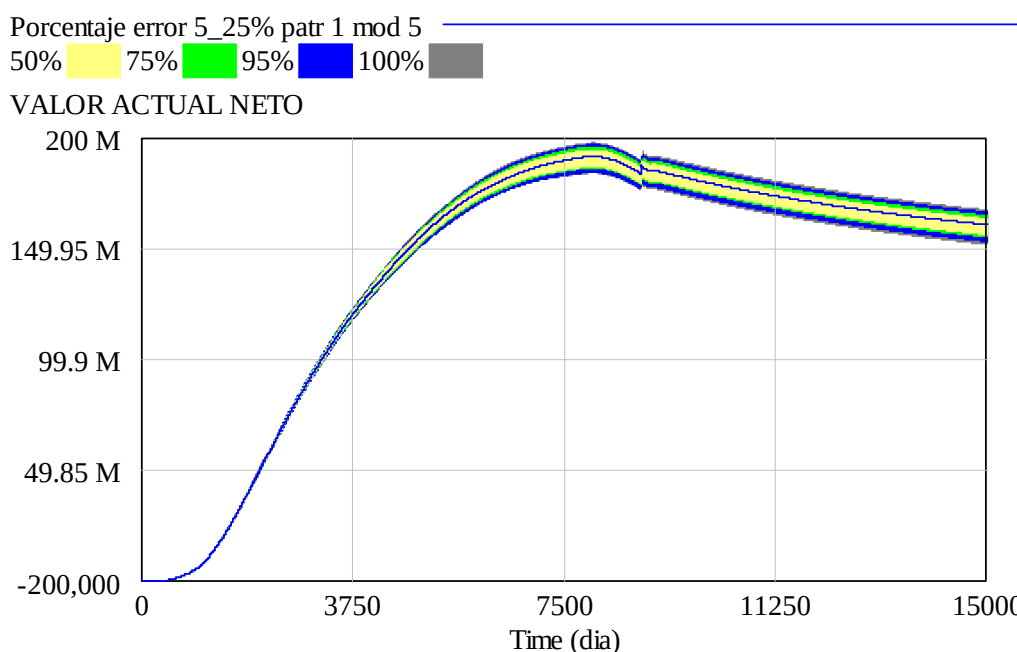
Tabla 16-3 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 5.  
Sensibilidad del Tiempo de residencia entre 3 y 8 años.

|                                    | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 5 |              |               |              |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|                                    | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2 | VAN patrón 3  | VAN patrón 4 |
| Valor a fecha liquidación (3 años) | 225.380.000 €                                                            | 79.960.000 € | 213.820.000 € | 49.780.000 € |
| Valor a fecha liquidación (8 años) | 159.690.000 €                                                            | 54.540.000 € | 146.150.000 € | 22.480.000 € |
| Valor a fin de simulación (3 años) | 202.420.000 €                                                            | 57.270.000 € | 209.930.000 € | 45.500.000 € |
| Valor a fin de simulación (8 años) | 134.980.000 €                                                            | 30.920.000 € | 141.670.000 € | 17.950.000 € |

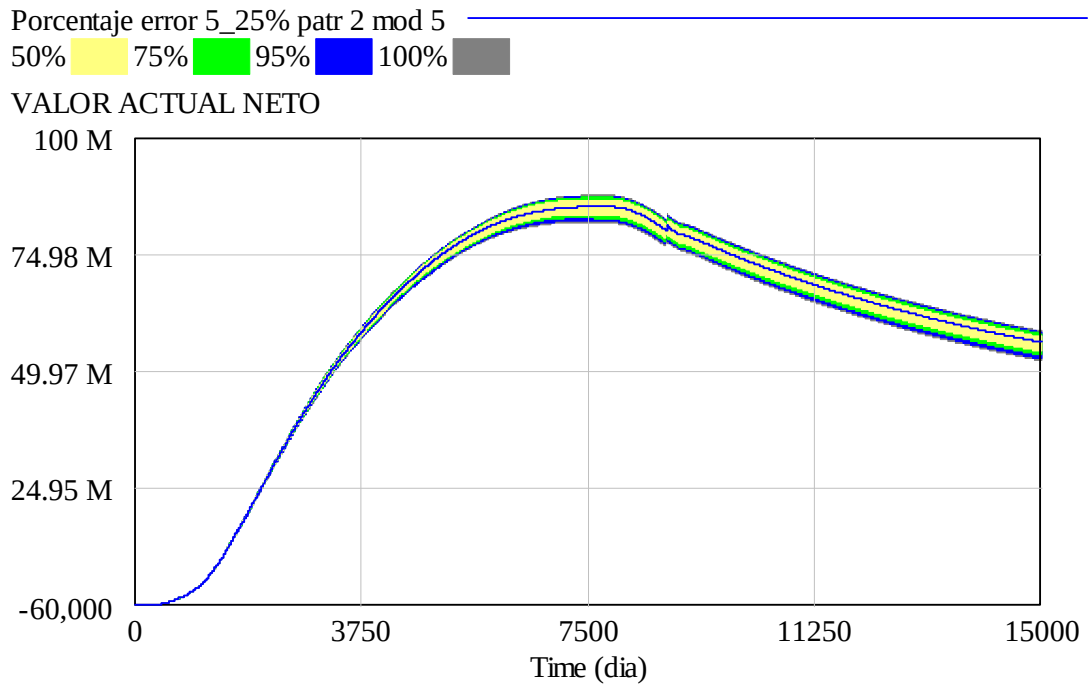
### 16.2.3. Variación del Porcentaje de error entre un 5 y un 25%. Escenario 5.

Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación del **porcentaje de error** entre un 5 y un 25%.

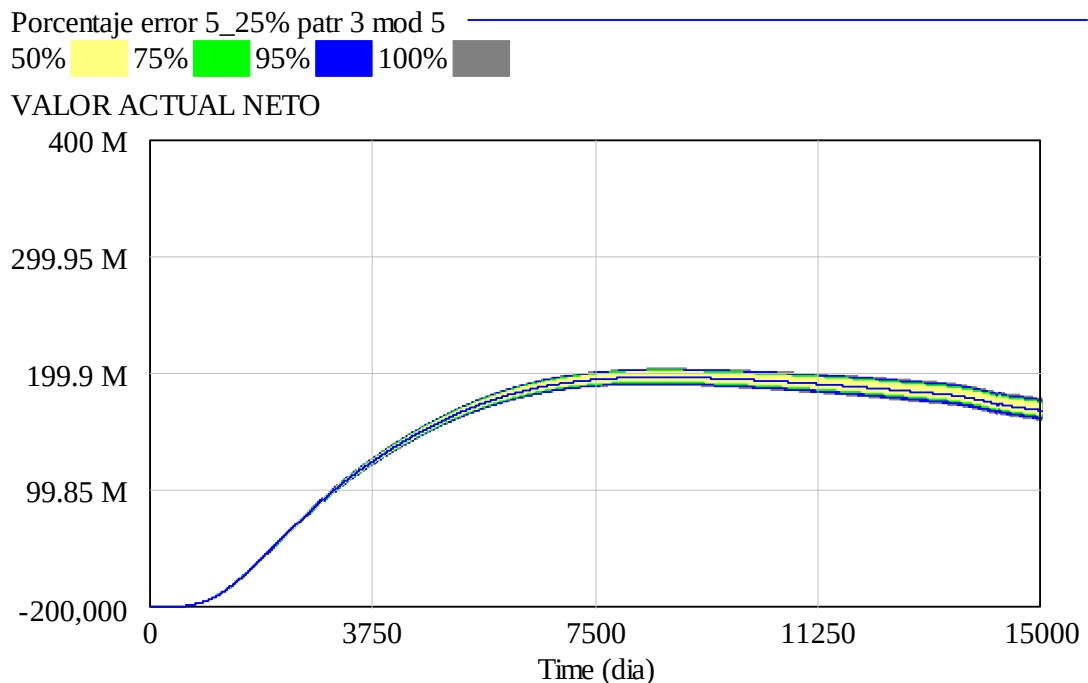
Gráfica 16-25 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre 5 y 25% con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-26 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre 5 y 25% con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-27 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre 5 y 25% con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-28 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre 5 y 25% con 200 simulaciones. (Escenario 5).

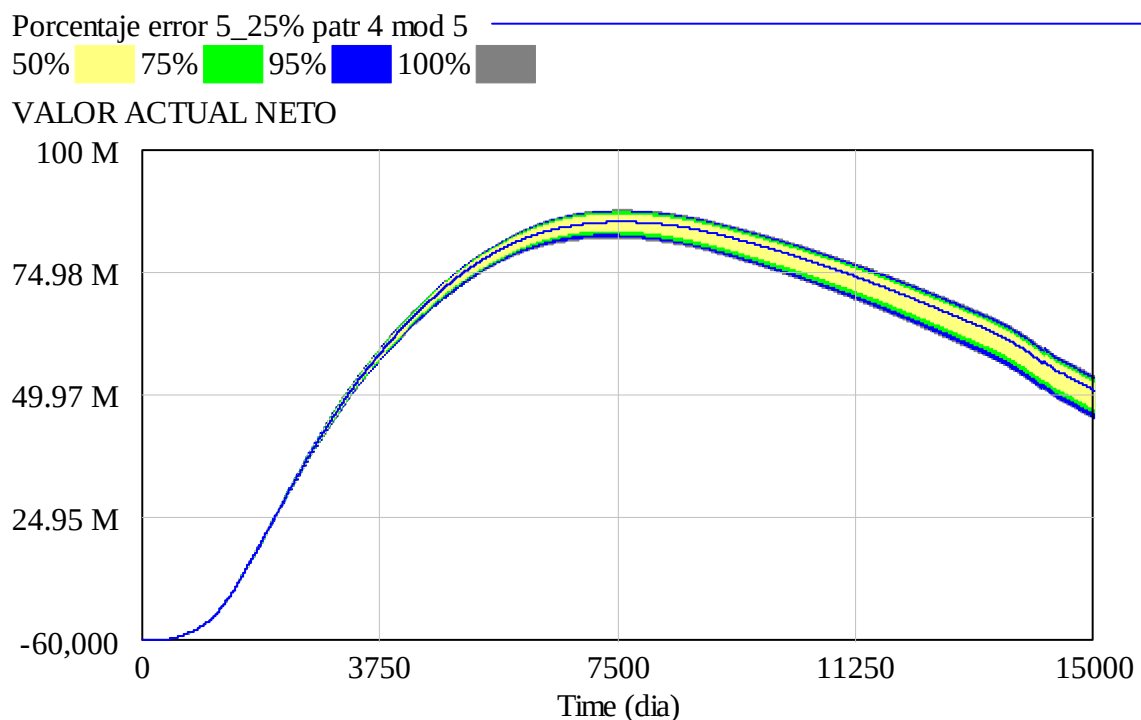


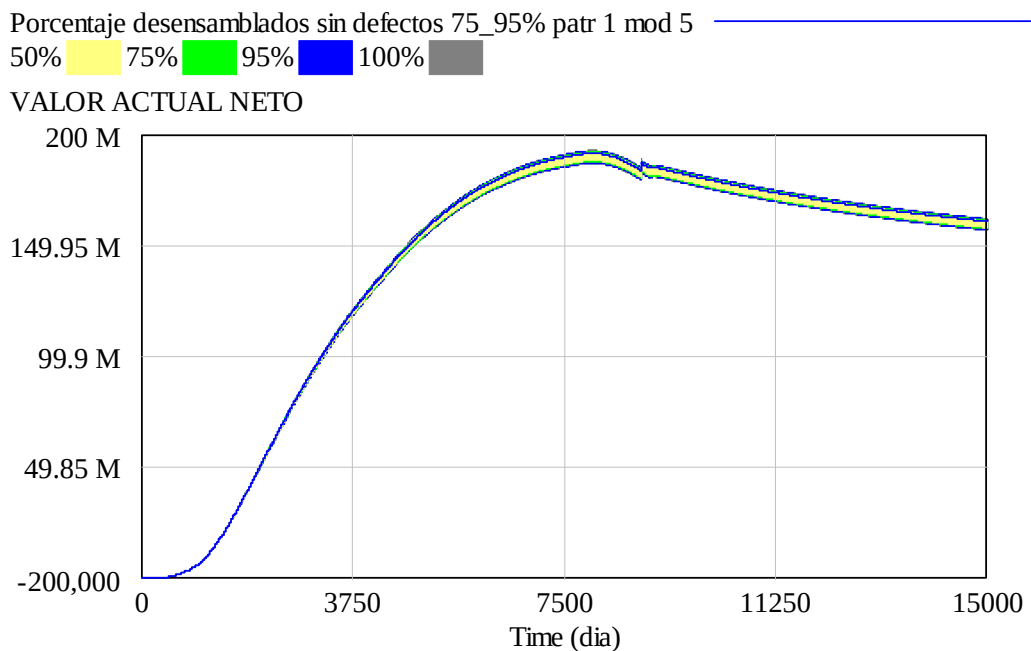
Tabla 16-4 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 5. Sensibilidad del Porcentaje de error entre un 5 y un 25%.

|                                 | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 5 |              |               |              |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|                                 | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2 | VAN patrón 3  | VAN patrón 4 |
| Valor a fecha liquidación (5%)  | 196.550.000 €                                                            | 71.870.000 € | 187.940.000 € | 42.240.000 € |
| Valor a fecha liquidación (25%) | 182.510.000 €                                                            | 59.880.000 € | 170.460.000 € | 24.980.000 € |
| Valor a fin de simulación (5%)  | 172.460.000 €                                                            | 48.280.000 € | 183.840.000 € | 37.860.000 € |
| Valor a fin de simulación (25%) | 157.370.000 €                                                            | 35.870.000 € | 166.050.000 € | 20.250.000 € |

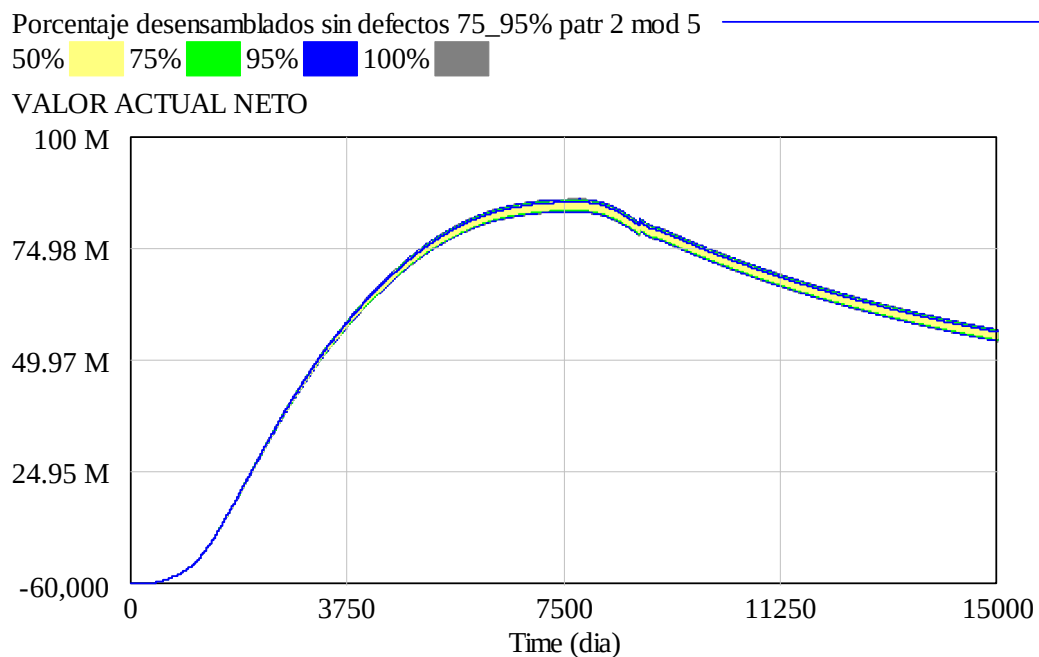
#### 16.2.4. Variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos entre un 75 y 95%. Escenario 5.

Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación del **Porcentaje de desensamblados sin defectos** entre un 75 y un 95%.

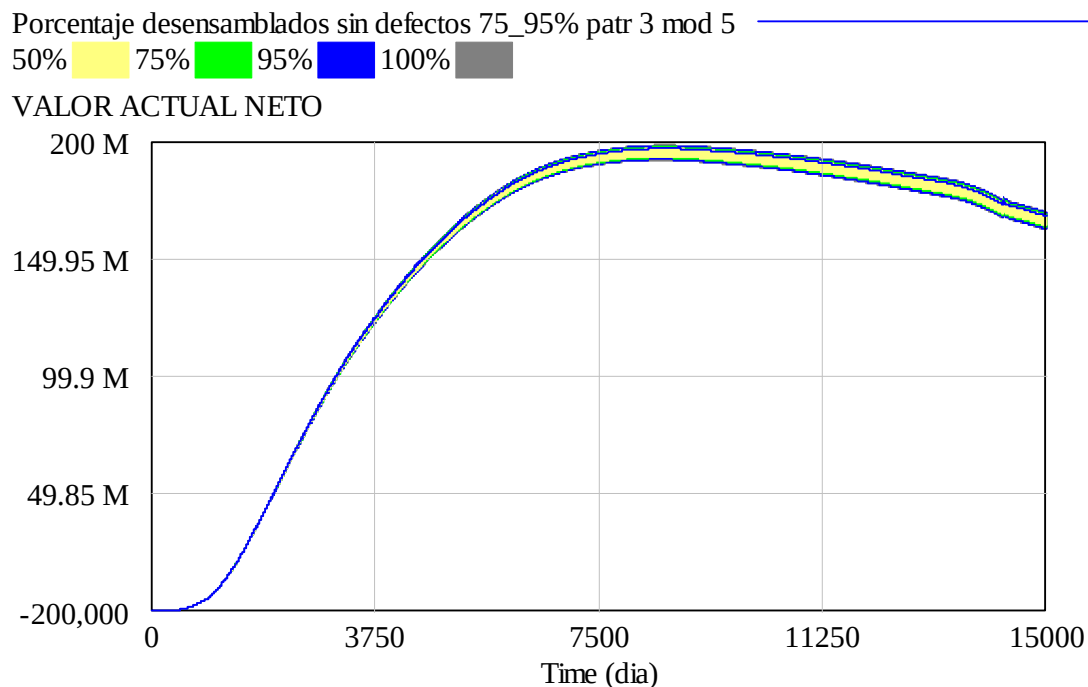
Gráfica 16-29 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos considerándolo uniformemente distribuido entre 75 y 95% con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-30 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos considerándolo uniformemente distribuido entre 75 y 95% con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-31 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos considerándolo uniformemente distribuido entre 75 y 95% con 200 simulaciones. (Escenario 5).





Gráfica 16-32 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos considerándolo uniformemente distribuido entre 75 y 95% con 200 simulaciones. (Escenario 5).

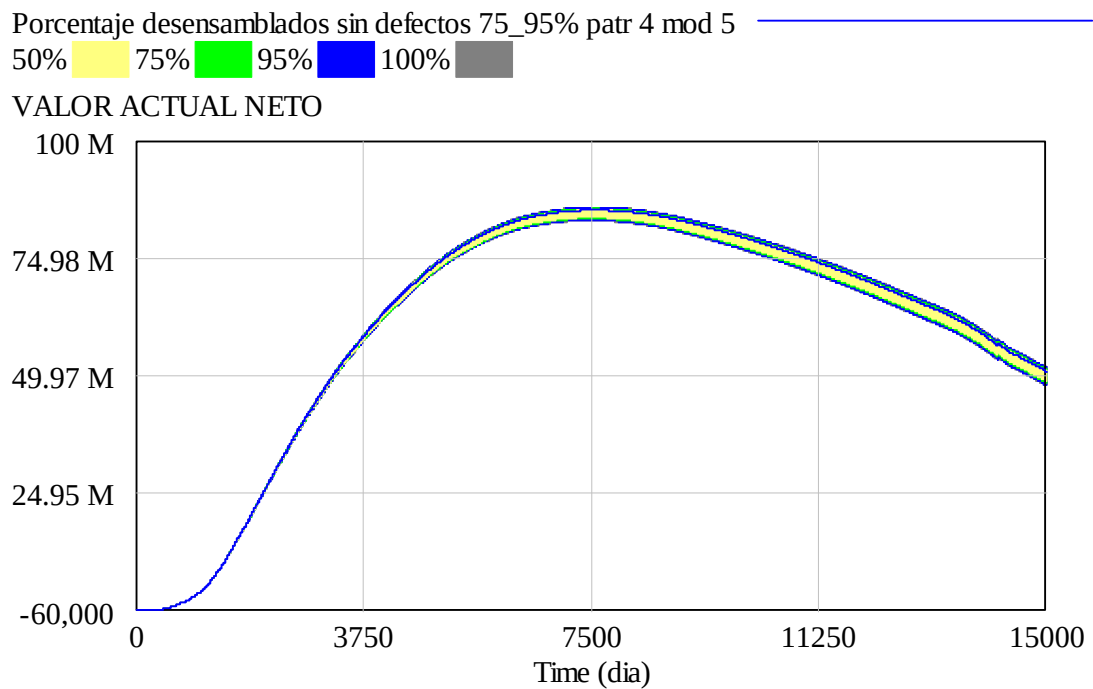


Tabla 16-5 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 5. Sensibilidad del Porcentaje de desensamblados sin defectos entre un 5 y un 25%.

|                                 | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 5 |              |               |              |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|                                 | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2 | VAN patrón 3  | VAN patrón 4 |
| Valor a fecha liquidación (75%) | 184.750.000 €                                                            | 66.410.000 € | 173.050.000 € | 35.010.000 € |
| Valor a fecha liquidación (95%) | 190.490.000 €                                                            | 66.800.000 € | 181.030.000 € | 35.560.000 € |
| Valor a fin de simulación (75%) | 160.820.000 €                                                            | 43.450.000 € | 168.800.000 € | 30.590.000 € |
| Valor a fin de simulación (95%) | 166.330.000 €                                                            | 43.850.000 € | 176.780.000 € | 31.150.000 € |

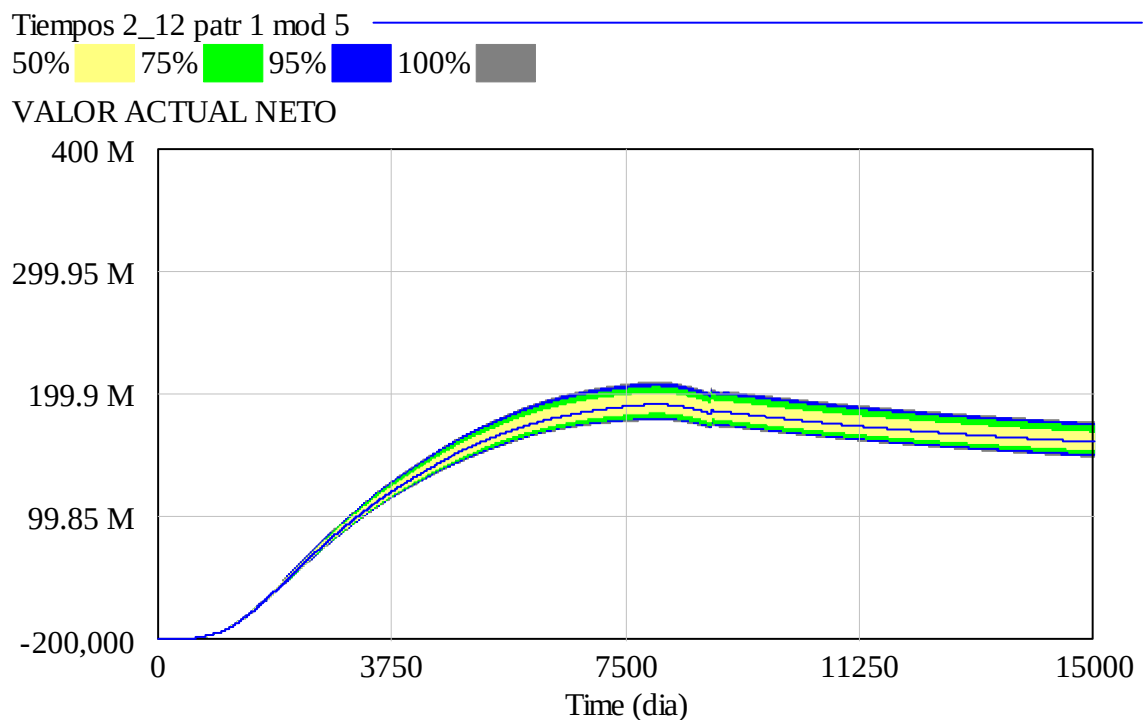
### 16.2.5. Variación de los tiempos operativos entre 2 y 12 días. Escenario 5.

Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible el VAN para los distintos patrones de la demanda considerando la variación de los tiempos operativos entre 2 y 12 días.

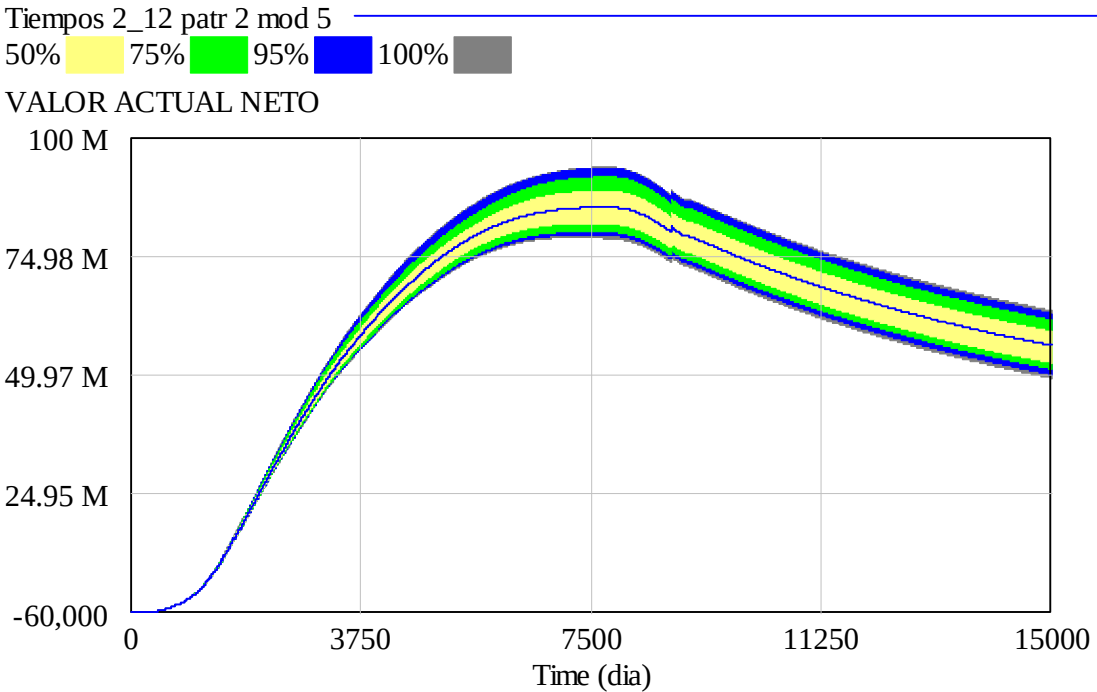
Consideramos como tiempos operativos en este escenario a:

- **Tiempo de producción**
- **Tiempo de inspección**
- **Tiempo de reprocesado**
- **Tiempo de desensamblado**

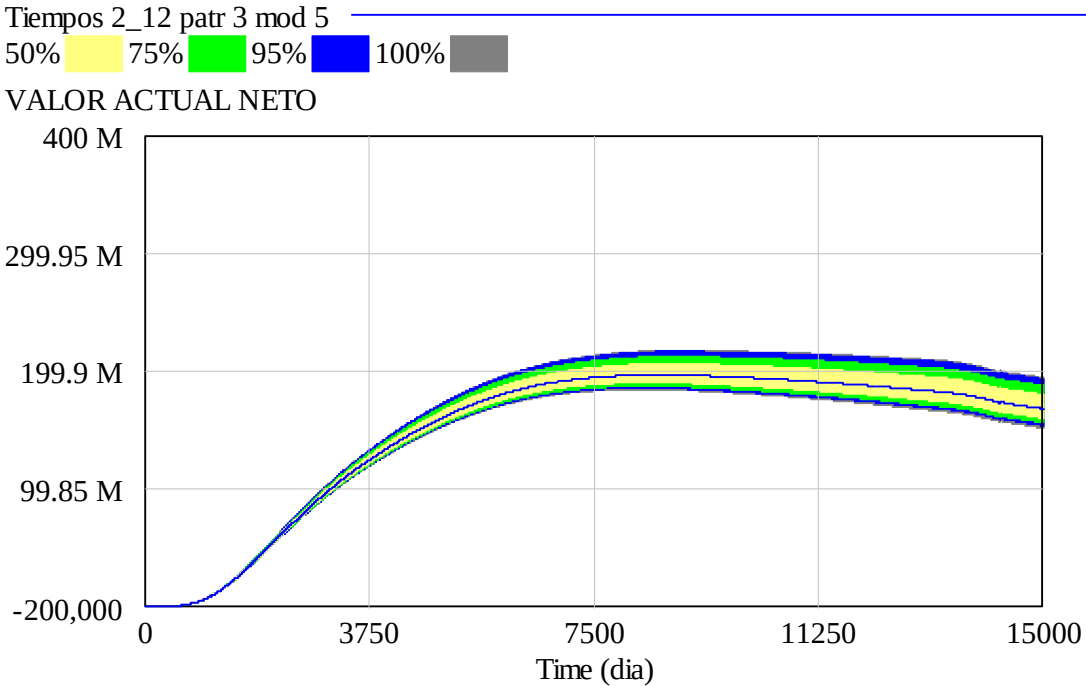
Gráfica 16-33 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de los tiempos de producción, inspección, reprocesado y desensamblado considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-34 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de los tiempos de producción, inspección, reprocesado y desensamblado considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-35 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de los tiempos de producción, inspección, reprocesado y desensamblado considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-36 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de los tiempos de producción, inspección, reprocesado y desensamblado considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 5).

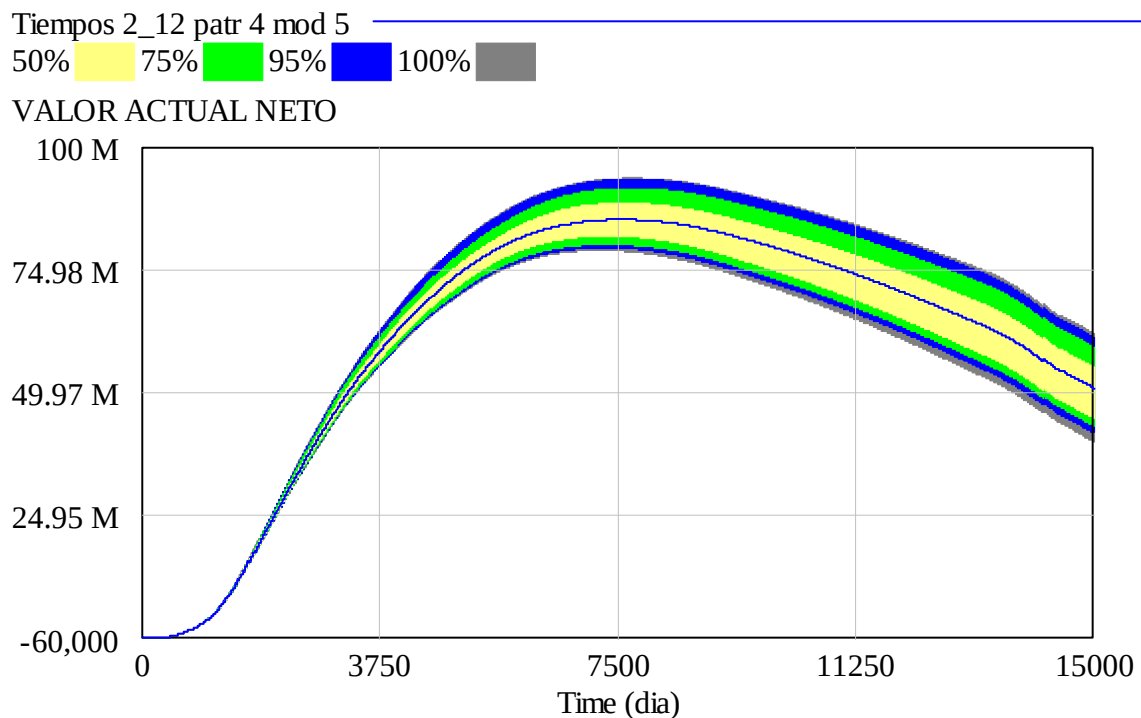


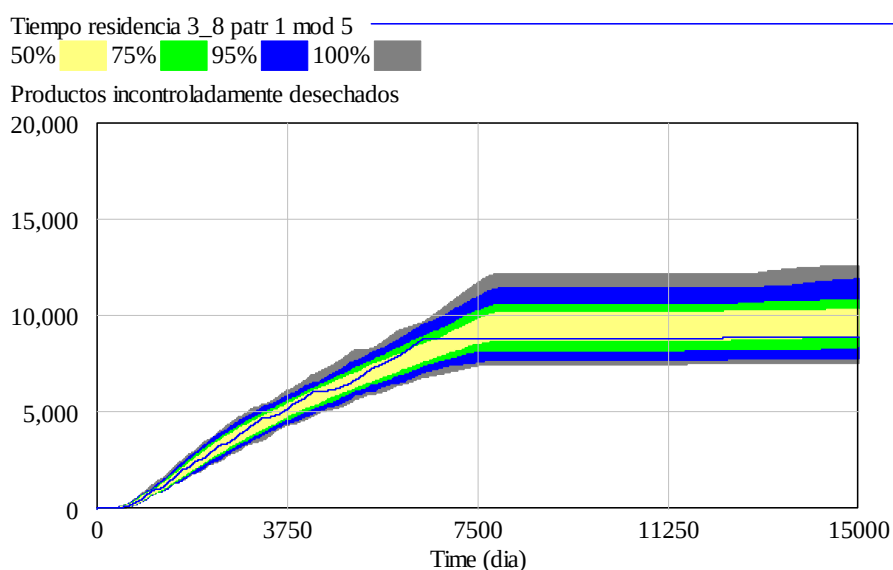
Tabla 16-6 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 5. Sensibilidad de los tiempos de producción, inspección, reprocesado y desensamblado considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días

|                                     | Valores del VAN obtenidos según el patrón de demanda para el escenario 5 |              |               |              |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|                                     | VAN patrón 1                                                             | VAN patrón 2 | VAN patrón 3  | VAN patrón 4 |
| Valor a fecha liquidación (2 días)  | 208.720.000 €                                                            | 84.500.000 € | 204.160.000 € | 62.160.000 € |
| Valor a fecha liquidación (12 días) | 178.170.000 €                                                            | 55.370.000 € | 162.490.000 € | 18.400.000 € |
| Valor a fin de simulación (2 días)  | 183.950.000 €                                                            | 61.530.000 € | 200.160.000 € | 58.220.000 € |
| Valor a fin de simulación (12 días) | 153.970.000 €                                                            | 31.190.000 € | 158.040.000 € | 13.530.000 € |

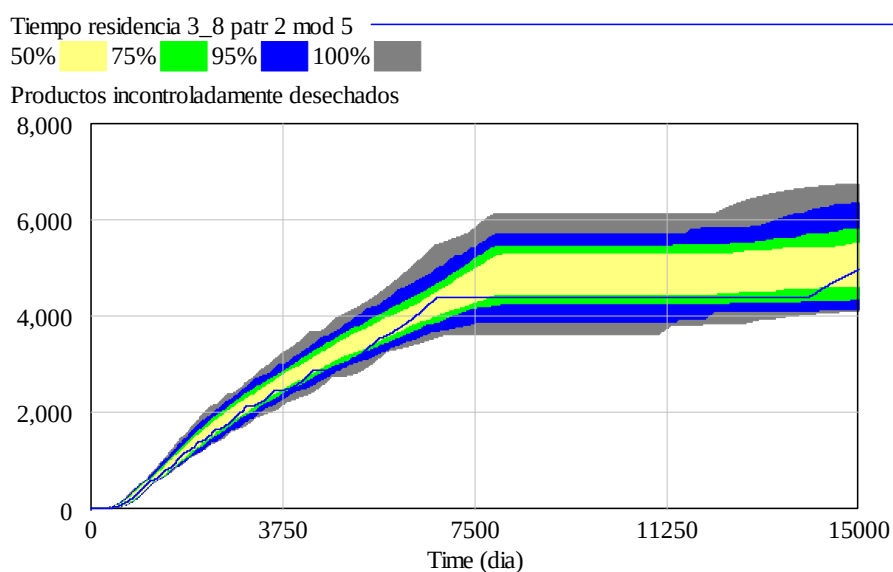
### 16.2.6. Comportamiento de los Productos incontroladamente desechados cuando varía el tiempo de residencia entre 3 y 8 años. Escenario 5.

Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible la variable **Productos incontroladamente desechados** para los distintos patrones de la demanda considerando la variación del **tiempo de residencia** entre 3 y 8 años.

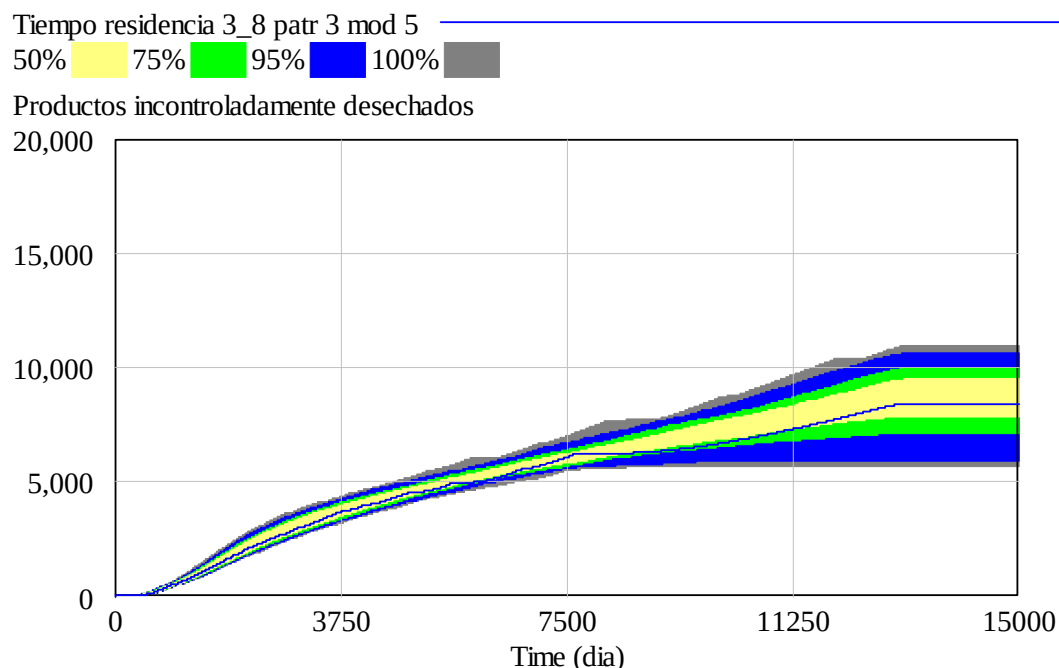
Gráfica 16-37 Análisis de sensibilidad de los Productos incontroladamente desechados mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).



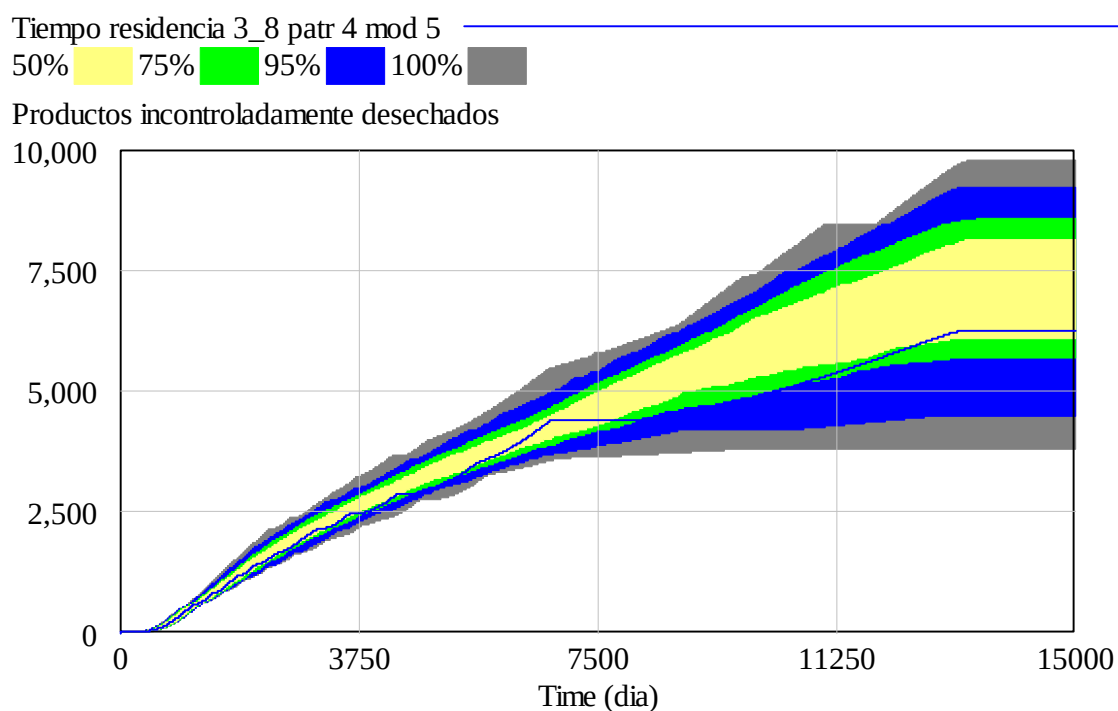
Gráfica 16-38 Análisis de sensibilidad de los Productos incontroladamente desechados mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-39 Análisis de sensibilidad de los Productos incontroladamente desechados mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).



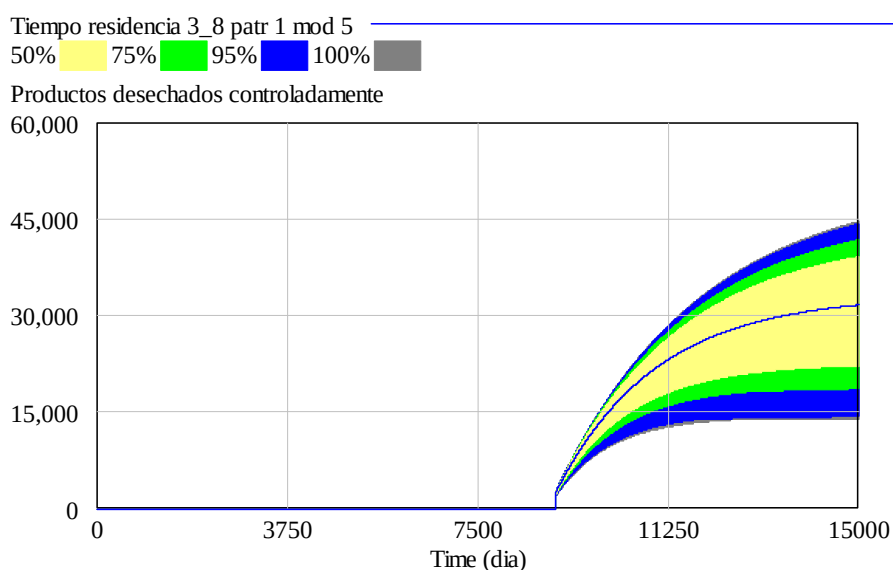
Gráfica 16-40 Análisis de sensibilidad de los Productos incontroladamente desechados mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).



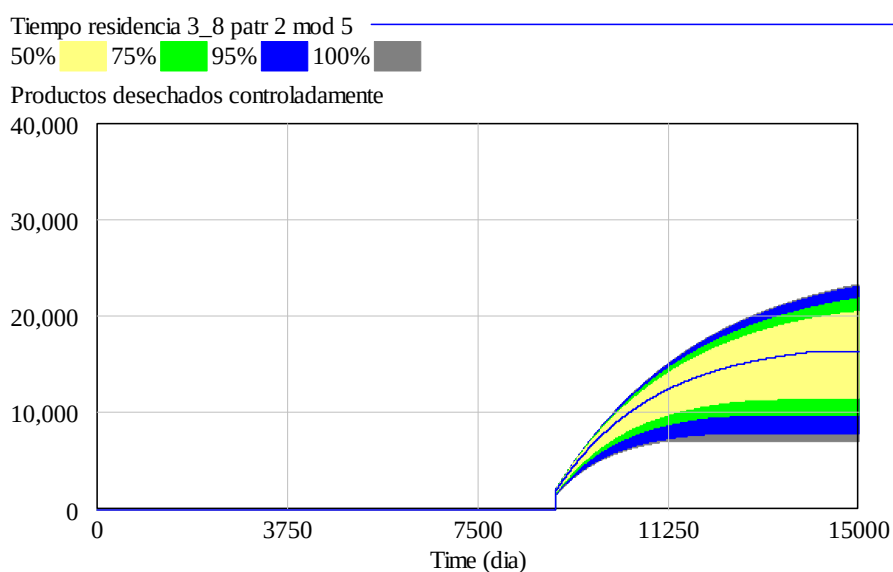
### 16.2.7. Comportamiento de los Productos desechados controladamente cuando varía el tiempo de residencia entre 3 y 8 años. Escenario 5.

Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible la variable **Productos desechados controladamente** para los distintos patrones de la demanda considerando la variación del **tiempo de residencia** entre 3 y 8 años.

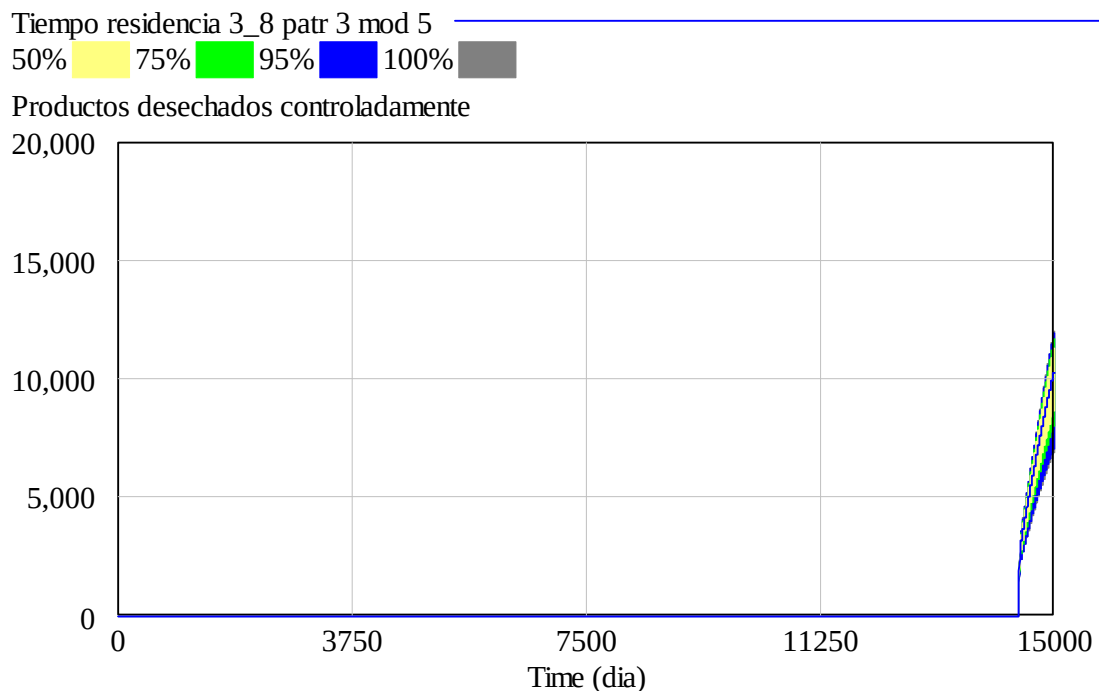
Gráfica 16-41 Análisis de sensibilidad de los Productos desechados controladamente mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).



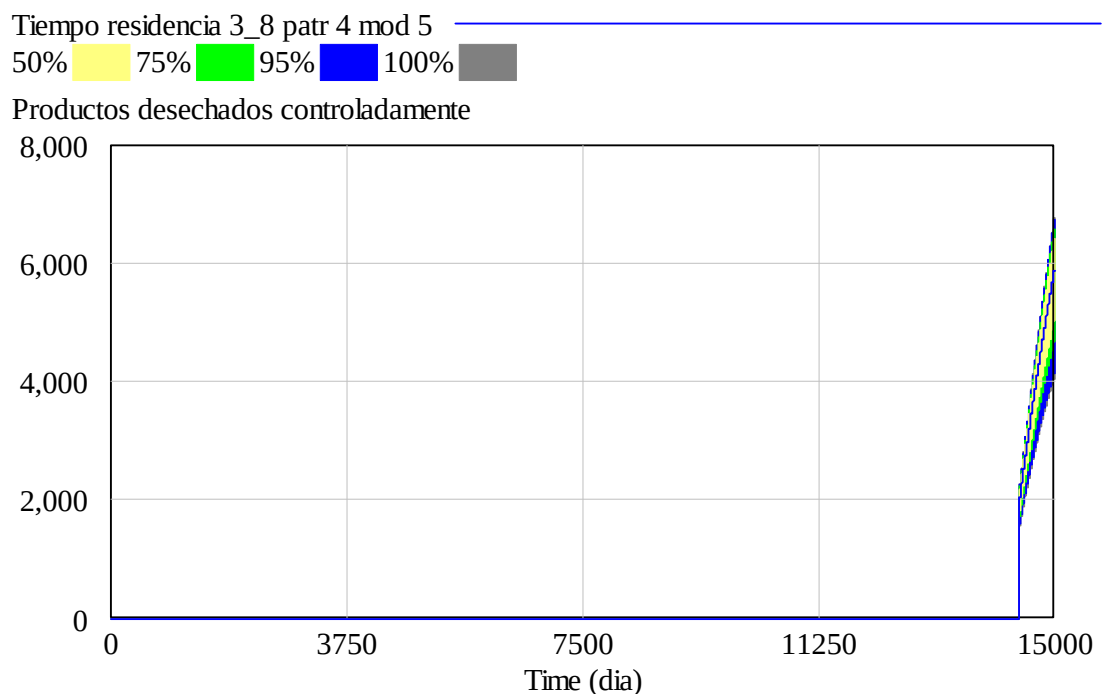
Gráfica 16-42 Análisis de sensibilidad de los Productos desechados controladamente mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-43 Análisis de sensibilidad de los Productos desechados controladamente mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-44 Análisis de sensibilidad de los Productos desechados controladamente mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).

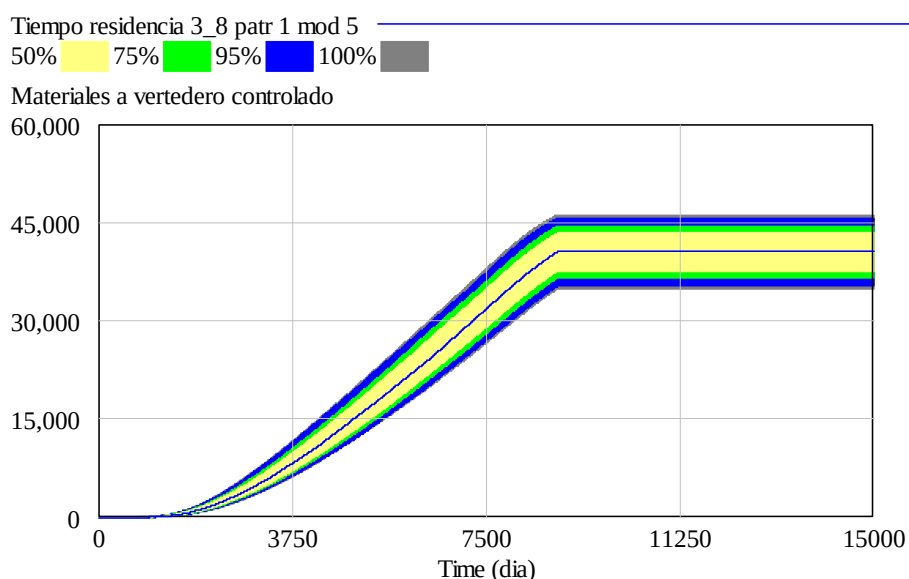




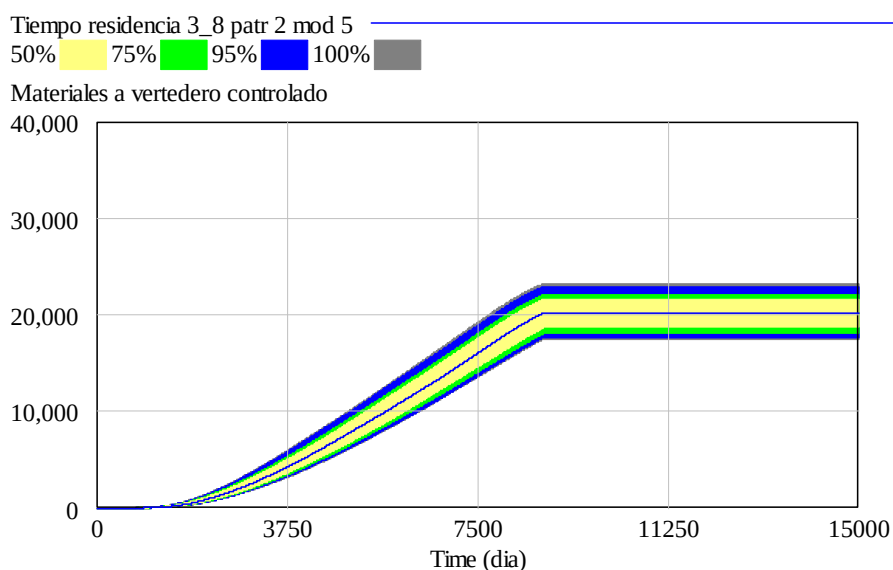
### 16.2.8. Comportamiento de los Materiales a vertedero controlado cuando varía el tiempo de residencia entre 3 y 8 años. Escenario 5.

Se comenzará el análisis de sensibilidad comparando cómo es de sensible la variable **Material a vertedero controlado** para los distintos patrones de la demanda considerando la variación del **tiempo de residencia** entre 3 y 8 años.

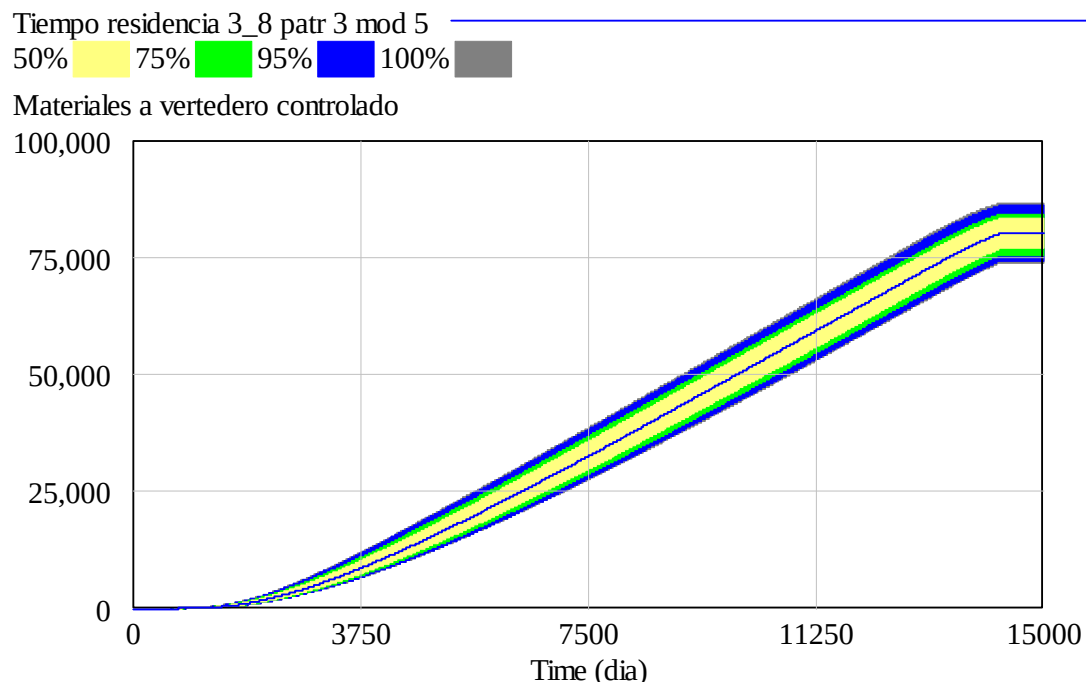
Gráfica 16-45 Análisis de sensibilidad de los Materiales a vertedero controlado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).



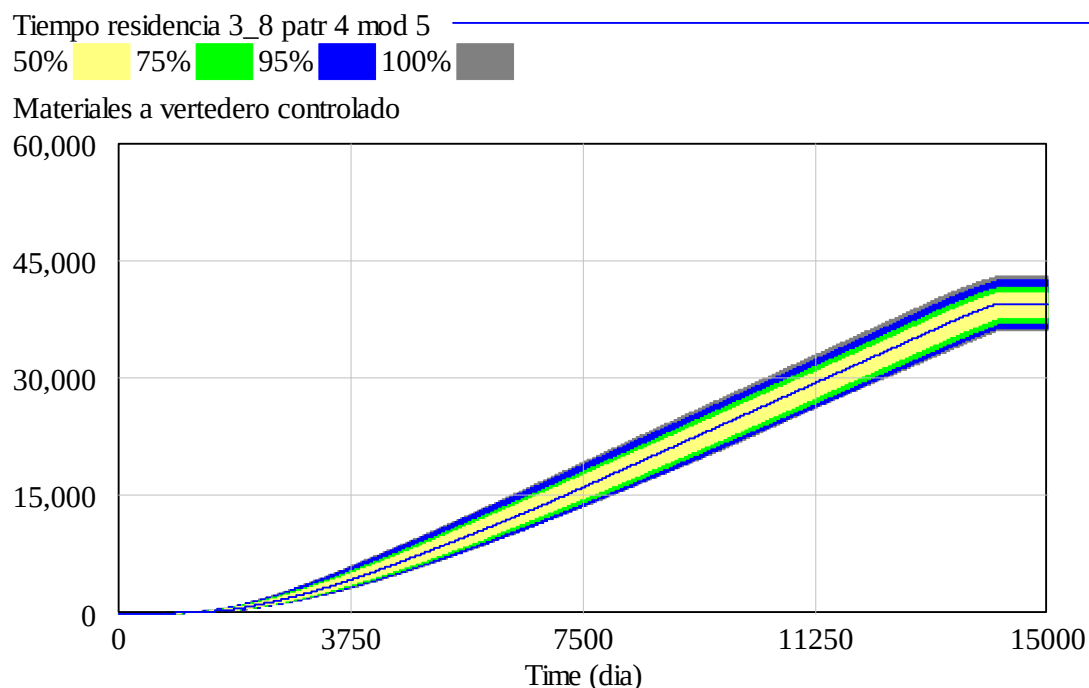
Gráfica 16-46 Análisis de sensibilidad de los Materiales a vertedero controlado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-47 Análisis de sensibilidad de los Materiales a vertedero controlado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).



Gráfica 16-48 Análisis de sensibilidad de los Materiales a vertedero controlado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).



### **16.3. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DEL ESCENARIO 5.**

#### **16.3.1. Conclusiones generales sobre el modelo (Escenario 5)**

Del comportamiento del modelo en este escenario 5 se deduce que:

- a) El modelo integra las opciones de reprocesado, canibalización de componentes, venta de productos en mercados secundarios, venta de materiales desensamblados en mercados secundarios, vertido controlado de productos, vertido controlado de materiales y su correspondiente vertido incontrolado.

#### **16.3.2. Conclusiones específicas sobre el modelo en el caso de estudio (Escenario 5)**

En el caso de estudio de las baterías de litio con los datos manejados se observa lo siguiente:

- a) Con los parámetros de simulación empleados se puede observar que todos los patrones de demanda producen beneficios, si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4. Este hecho difiere de los estudios llevados a cabo por (Georgiadis, Vlachos 2004) en los que un patrón de demanda de mayor duración produce más beneficios. La razón para que esto se produzca reside en el hecho de que en el modelo de (Georgiadis, Vlachos 2004) los precios y costes permanecían constantes durante todo el período de simulación mientras que en el modelo que se ha desarrollado en este trabajo varían según las condiciones indicadas en el apartado 11.2 Datos y parámetros empleados.
- b) Del análisis de sensibilidad realizado sobre la tasa de descuento anual entre un 3% y un 7% se deduce que todos los patrones de demanda producen beneficios, si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.
- c) Del análisis de sensibilidad realizado sobre el tiempo de residencia entre 3 y 8 años y de los tiempos de producción, desensamblado, reprocesado e inspección entre 2 y 12 días todos los patrones de demanda producen

- beneficios, si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.
- d) Del análisis de sensibilidad realizado sobre el Porcentaje de error entre un 5 y un 25% se deduce que también todos los patrones de demanda producen beneficios, si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.
  - e) Del análisis de sensibilidad realizado sobre el Porcentaje de desensamblado sin defectos entre un 75% y un 95% se deduce que también todos los patrones de demanda producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.
  - f) En el modelo propuesto y con los datos manejados se puede concluir que el escenario 5 produce mayores beneficios económicos que los demás escenarios; es decir, el establecimiento de un sistema de recogida junto con un sistema de reprocesado y un sistema de canibalización de componentes produce los beneficios económicos mayores para todos los patrones de demanda.
  - g) De todos los factores empleados en el análisis de sensibilidad se deduce que una mejora tecnológica que produzca a tiempos de producción, desensamblado, reprocesado e inspección bajos produce los mayores beneficios de la simulación.



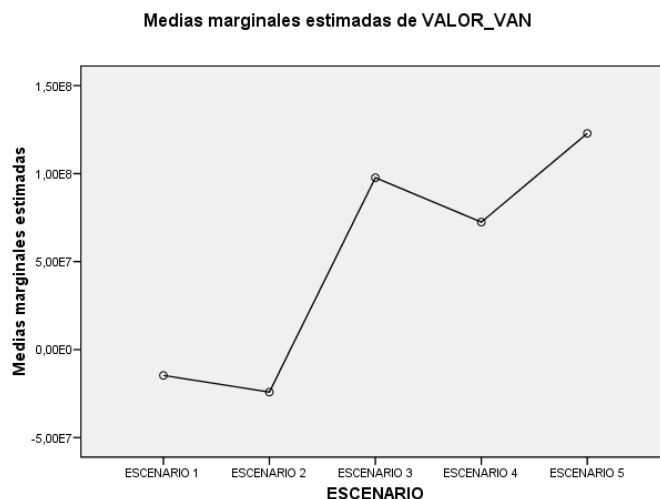
## 17. COMPARACIÓN DE ESCENARIOS

A continuación se muestran las tablas resumen de los datos que se han ido obteniendo en las distintas simulaciones y los gráficos de los estadísticos que los describen que son, media, desviación típica con la corrección de Bessel y número de elementos.

Tabla 17-1 Estadísticos descriptivos del VAN con respecto a las variables Patrón de demanda y Escenario.

| ESCENARIO       | PATRON DEMANDA    | VAN Medio        | Desv. típ.       | N  |
|-----------------|-------------------|------------------|------------------|----|
| ESCENARIO 1     | PATRON 1          | 44.320.000,00 €  | .                | 1  |
|                 | PATRON 2          | 5.077.000,00 €   | .                | 1  |
|                 | PATRON 3          | -48.250.000,00 € | .                | 1  |
|                 | PATRON 4          | -59.840.000,00 € | .                | 1  |
|                 | Media escenario 1 | -14.673.250,00 € | 48.434.524,07 €  | 4  |
| ESCENARIO 2     | PATRON 1          | 33.780.000,00 €  | .                | 1  |
|                 | PATRON 2          | -641.870,00 €    | .                | 1  |
|                 | PATRON 3          | -62.370.000,00 € | .                | 1  |
|                 | PATRON 4          | -67.260.000,00 € | .                | 1  |
|                 | Media escenario 2 | -24.122.967,50 € | 49.084.127,28 €  | 4  |
| ESCENARIO 3     | PATRON 1          | 160.700.000,00 € | .                | 1  |
|                 | PATRON 2          | 64.510.000,00 €  | .                | 1  |
|                 | PATRON 3          | 133.100.000,00 € | .                | 1  |
|                 | PATRON 4          | 32.330.000,00 €  | .                | 1  |
|                 | Media escenario 3 | 97.660.000,00 €  | 59.433.342,49 €  | 4  |
| ESCENARIO 4     | PATRON 1          | 134.180.000,00 € | .                | 1  |
|                 | PATRON 2          | 51.600.000,00 €  | .                | 1  |
|                 | PATRON 3          | 92.260.000,00 €  | .                | 1  |
|                 | PATRON 4          | 11.660.000,00 €  | .                | 1  |
|                 | Media escenario 4 | 72.425.000,00 €  | 52.704.120,96 €  | 4  |
| ESCENARIO 5     | PATRON 1          | 189.160.000,00 € | .                | 1  |
|                 | PATRON 2          | 66.710.000,00 €  | .                | 1  |
|                 | PATRON 3          | 179.180.000,00 € | .                | 1  |
|                 | PATRON 4          | 56.350.000,00 €  | .                | 1  |
|                 | Media escenario 5 | 122.850.000,00 € | 71.049.359,84 €  | 4  |
| Medias Patrones | PATRON 1          | 112.428.000,00 € | 69.848.662,98 €  | 5  |
|                 | PATRON 2          | 37.451.026,00 €  | 32.739.942,67 €  | 5  |
|                 | PATRON 3          | 58.784.000,00 €  | 108.712.092,38 € | 5  |
|                 | PATRON 4          | -5.352.000,00 €  | 55.493.289,41 €  | 5  |
|                 | Media Total       | 50.827.756,50 €  | 79.259.475,25 €  | 20 |

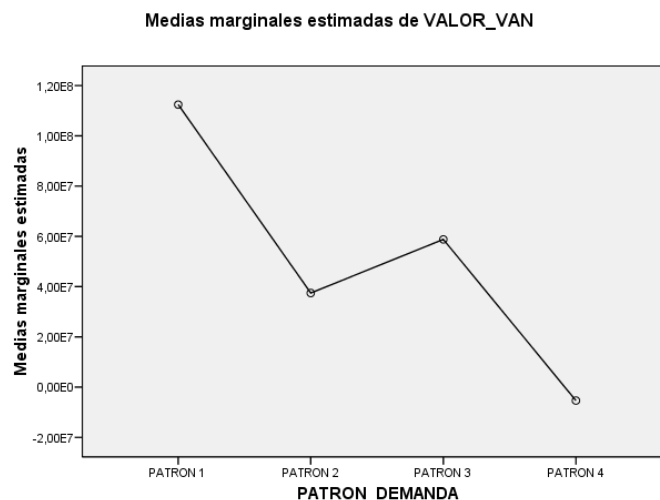
Gráfica 17-1 Valor del VAN con respecto a la variable Escenario.



Como puede observarse los escenarios 1 y 2, en los que no se activa ninguna de las opciones ni de reprocesado ni de canibalización de componentes, no presentan beneficios. El peor resultado lo arroja el escenario 2 cuando la recogida de productos no va acompañada de ninguna otra opción de recuperación de valor.

El reprocesado (Escenario 3) presenta mejores expectativas económicas que la canibalización de componentes (Escenario 4) si bien la aplicación de las dos medidas a la vez es la que produce los mejores resultados (Escenario 5).

Gráfica 17-2 Valor del VAN con respecto a la variable Patrón.



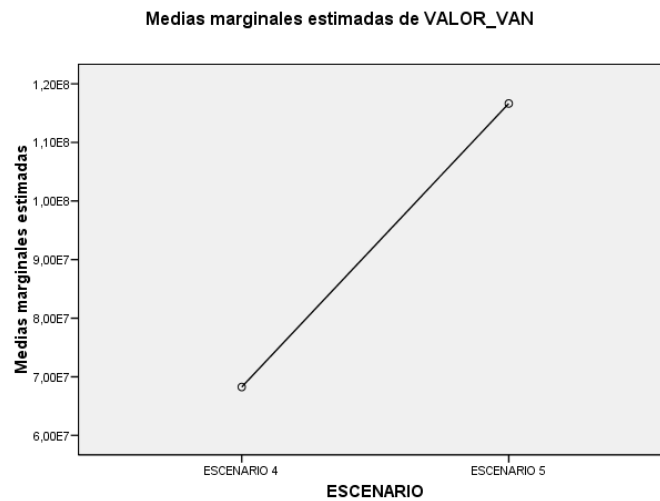
Con los datos manejados en el modelo el mejor de los resultados se presenta para el patrón de demanda 1 seguido por el patrón de demanda 3. Esto es debido a que con el tiempo se prevé que los costes superen a los ingresos y por lo tanto las expectativas de un patrón de demanda de productos a largo plazo no general un buen rendimiento económico. Este hecho difiere de otros estudios realizados como es el caso de (Georgiadis, Vlachos 2004).

Tabla 17-2 Estadísticos descriptivos del VAN con respecto a las variables Patrón de demanda, Escenario y porcentaje de desensamblado sin defectos.

| ESCENARIO   | PATRON_DEMANDA    | PORC_DES<br>SIN_DEF | VAN Medio        | Desv. típ.      | N  |
|-------------|-------------------|---------------------|------------------|-----------------|----|
| ESCENARIO 4 | PATRON 1          | 75,00%              | 120.670.000,00 € | .               | 1  |
|             |                   | 95,00%              | 134.400.000,00 € | .               | 1  |
|             |                   | Media               | 127.535.000,00 € | 9.708.576,11 €  | 2  |
|             | PATRON 2          | 75,00%              | 46.050.000,00 €  | .               | 1  |
|             |                   | 95,00%              | 53.260.000,00 €  | .               | 1  |
|             |                   | Media               | 49.655.000,00 €  | 5.098.239,89 €  | 2  |
|             | PATRON 3          | 75,00%              | 77.190.000,00 €  | .               | 1  |
|             |                   | 95,00%              | 96.760.000,00 €  | .               | 1  |
|             |                   | Media               | 86.975.000,00 €  | 13.838.079,71 € | 2  |
|             | PATRON 4          | 75,00%              | 3.670.000,00 €   | .               | 1  |
|             |                   | 95,00%              | 14.050.000,00 €  | .               | 1  |
|             |                   | Media               | 8.860.000,00 €   | 7.339.768,39 €  | 2  |
|             | Media Escenario 4 | 75,00%              | 61.895.000,00 €  | 49.428.912,93 € | 4  |
|             |                   | 95,00%              | 74.617.500,00 €  | 52.245.581,87 € | 4  |
|             |                   | Media               | 68.256.250,00 €  | 47.572.769,50 € | 8  |
| ESCENARIO 5 | PATRON 1          | 75,00%              | 184.750.000,00 € | .               | 1  |
|             |                   | 95,00%              | 190.490.000,00 € | .               | 1  |
|             |                   | Media               | 187.620.000,00 € | 4.058.792,92 €  | 2  |
|             | PATRON 2          | 75,00%              | 66.410.000,00 €  | .               | 1  |
|             |                   | 95,00%              | 66.800.000,00 €  | .               | 1  |
|             |                   | Media               | 66.605.000,00 €  | 275.771,64 €    | 2  |
|             | PATRON 3          | 75,00%              | 173.050.000,00 € | .               | 1  |
|             |                   | 95,00%              | 181.030.000,00 € | .               | 1  |
|             |                   | Media               | 177.040.000,00 € | 564.2712,11 €   | 2  |
|             | PATRON 4          | 75,00%              | 35.010.000,00 €  | .               | 1  |
|             |                   | 95,00%              | 35.560.000,00 €  | .               | 1  |
|             |                   | Media               | 35.285.000,00 €  | 388.908,73 €    | 2  |
|             | Media Escenario 5 | 75,00%              | 114.805.000,00 € | 75.264.203,75 € | 4  |
|             |                   | 95,00%              | 118.470.000,00 € | 78.834.195,20 € | 4  |
|             |                   | Media               | 116.637.500,00 € | 71.379.725,56 € | 8  |
| Patrones    | PATRON 1          | 75,00%              | 152.710.000,00 € | 45.311.402,54 € | 2  |
|             |                   | 95,00%              | 162.445.000,00 € | 39.661.619,36 € | 2  |
|             |                   | Media               | 157.577.500,00 € | 35.218.070,53 € | 4  |
|             | PATRON 2          | 75,00%              | 56.230.000,00 €  | 14.396.694,06 € | 2  |
|             |                   | 95,00%              | 60.030.000,00 €  | 9.574.225,82 €  | 2  |
|             |                   | Media               | 58.130.000,00 €  | 10.220.414,21 € | 4  |
|             | PATRON 3          | 75,00%              | 125.120.000,00 € | 67.783.256,04 € | 2  |
|             |                   | 95,00%              | 138.895.000,00 € | 59.587.888,45 € | 2  |
|             |                   | Media               | 132.007.500,00 € | 52.710.014,47 € | 4  |
|             | PATRON 4          | 75,00%              | 19.340.000,00 €  | 22.160.726,52 € | 2  |
|             |                   | 95,00%              | 24.805.000,00 €  | 15.209.866,86 € | 2  |
|             |                   | Media               | 22.072.500,00 €  | 15.835.656,76 € | 4  |
|             | Media Patrones    | 75,00%              | 88.350.000,00 €  | 65.380.960,09 € | 8  |
|             |                   | 95,00%              | 96.543.750,00 €  | 66.202.478,36 € | 8  |
|             |                   | Media               | 92.446.875,00 €  | 63.702.755,95 € | 16 |

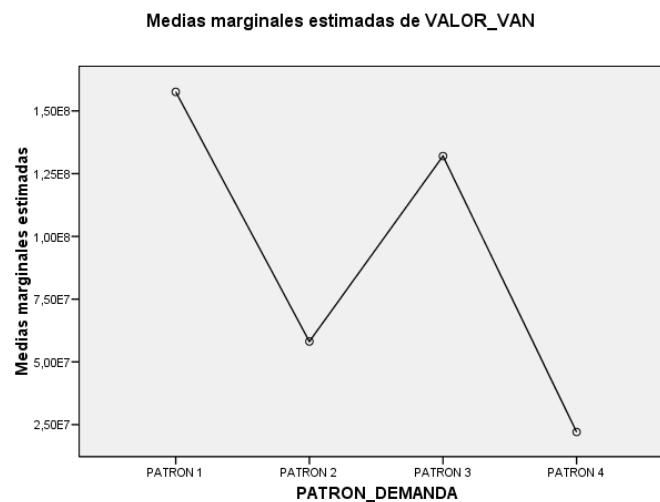


Gráfica 17-3 Valor del VAN con respecto a la variable Escenario con variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos.



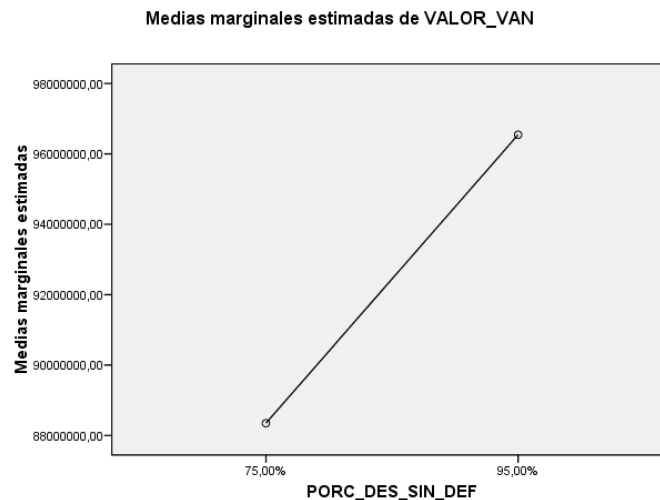
Cuando se realiza la variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos los mejores resultados se obtienen para el escenario 5 que incluye el reprocesado superando al escenario 4 en el que sólo se realiza canibalización de componentes.

Gráfica 17-4 Valor del VAN con respecto a la variable Patrón de demanda con variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos.



Cuando se realiza la variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos los mejores resultados se obtienen para el patrón de demanda 1 que tienen una duración inferior al del patrón de demanda 3.

Gráfica 17-5 Valor del VAN con respecto a la variable Porcentaje de desensamblados sin defectos.



Tal y como era de esperar los mejores resultados se obtienen para unos porcentajes de desensamblado sin defectos alto lo que lleva parejo un mayor aprovechamiento de los productos desensamblados.

Tabla 17-3 Estadísticos descriptivos del VAN con respecto a las variables Patrón de demanda, Escenario y porcentaje de error.

| ESCENARIO   | PATRON DEMANDA    | PORC_ERROR | VAN Medio        | Desv. típ.      | N |
|-------------|-------------------|------------|------------------|-----------------|---|
| ESCENARIO 3 | PATRON 1          | 25,00%     | 147.090.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | 5,00%      | 174.460.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | Media      | 160.775.000,00 € | 19.353.512,60 € | 2 |
|             | PATRÓN 2          | 25,00%     | 57.170.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | 5,00%      | 70.160.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | Media      | 63.665.000,00 €  | 9.185.317,09 €  | 2 |
|             | PATRÓN 3          | 25,00%     | 114.350.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | 5,00%      | 151.790.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | Media      | 133.070.000,00 € | 26.474.077,89 € | 2 |
|             | PATRÓN 4          | 25,00%     | 21.160.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | 5,00%      | 39.800.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | Media      | 30.480.000,00 €  | 13.180.470,40 € | 2 |
| ESCENARIO 5 | Media Escenario 3 | 25,00%     | 84.942.500,00 €  | 56.470.145,13 € | 4 |
|             |                   | 5,00%      | 109.052.500,00 € | 64.325.138,36 € | 4 |
|             |                   | Media      | 96.997.500,00 €  | 57.498.306,00 € | 8 |
|             | PATRON 1          | 25,00%     | 182.510.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | 5,00%      | 196.550.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | Media      | 189.530.000,00 € | 9.927.779,21 €  | 2 |
|             | PATRÓN 2          | 25,00%     | 59.880.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | 5,00%      | 71.870.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | Media      | 65.875.000,00 €  | 8.478.210,31 €  | 2 |
|             | PATRÓN 3          | 25,00%     | 170.460.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | 5,00%      | 187.940.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | Media      | 179.200.000,00 € | 12.360.226,54 € | 2 |

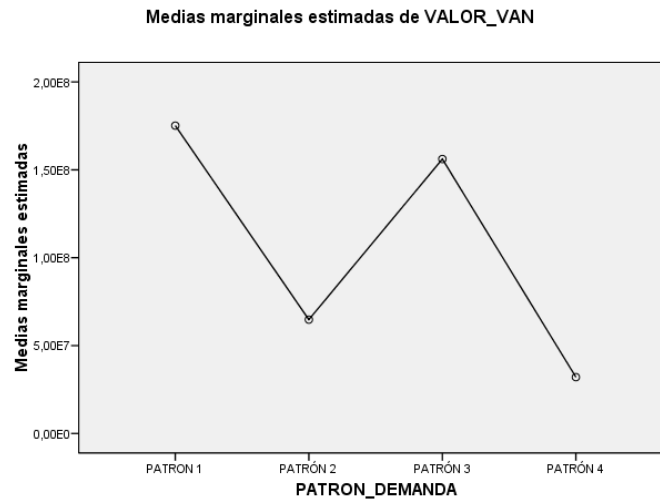
|          |                   |        |                  |                 |    |
|----------|-------------------|--------|------------------|-----------------|----|
| Patrones | PATRÓN 4          | 25,00% | 24.980.000,00 €  | .               | 1  |
|          |                   | 5,00%  | 42.240.000,00 €  | .               | 1  |
|          |                   | Media  | 33.610.000,00 €  | 12.204.663,04 € | 2  |
|          | Media Escenario 5 | 25,00% | 109.457.500,00 € | 78.850.806,96 € | 4  |
|          |                   | 5,00%  | 124.650.000,00 € | 79.061.939,01 € | 4  |
|          |                   | Media  | 117.053.750,00 € | 73.549.151,68 € | 8  |
|          | PATRON 1          | 25,00% | 164.800.000,00 € | 25.045.722,19 € | 2  |
|          |                   | 5,00%  | 185.505.000,00 € | 15.619.988,80 € | 2  |
|          |                   | Media  | 175.152.500,00 € | 20.816.414,00 € | 4  |
|          | PATRÓN 2          | 25,00% | 58.525.000,00 €  | 1.916.259,38 €  | 2  |
|          |                   | 5,00%  | 71.015.000,00 €  | 1.209.152,60 €  | 2  |
|          |                   | Media  | 64.770.000,00 €  | 7.328.806,18 €  | 4  |
|          | PATRÓN 3          | 25,00% | 142.405.000,00 € | 39.675.761,49 € | 2  |
|          |                   | 5,00%  | 169.865.000,00 € | 25.561.910,14 € | 2  |
|          |                   | Media  | 156.135.000,00 € | 31.525.803,72 € | 4  |
|          | PATRÓN 4          | 25,00% | 23.070.000,00 €  | 2.701.147,90 €  | 2  |
|          |                   | 5,00%  | 41.020.000,00 €  | 1.725.340,55 €  | 2  |
|          |                   | Media  | 32.045.000,00 €  | 10.527.353,26 € | 4  |
|          | Media patrones    | 25,00% | 97.200.000,00 €  | 64.830.495,03 € | 8  |
|          |                   | 5,00%  | 116.851.250,00 € | 67.243.804,69 € | 8  |
|          |                   | Media  | 107.025.625,00 € | 64.610.496,05 € | 16 |

Gráfica 17-6 Valor del VAN con respecto a la variable Escenario cuando se varía el Porcentaje de Error.



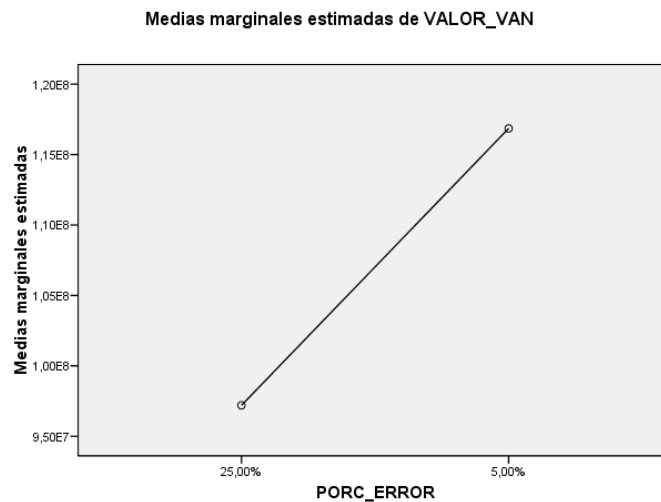
Como puede observarse los mejores resultados se obtienen para el Escenario 5 que incluye el reprocesado y la canibalización de componentes.

Gráfica 17-7 Valor del VAN con respecto a la variable Patrón de demanda cuando se varía el Porcentaje de Error.



Cuando se realiza la variación del Porcentaje error los mejores resultados se obtienen para el patrón de demanda 1 que tienen una duración inferior al del patrón de demanda 3 que presenta el segundo mejor resultado.

Gráfica 17-8 Valor del VAN con respecto a la variable Porcentaje de Error.

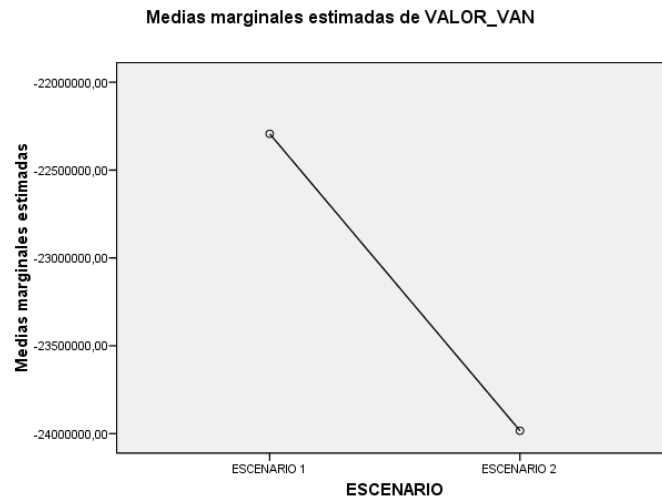


Tal y como era de esperar los mejores resultados se obtienen para unos porcentajes de error bajos lo que lleva parejo un mayor aprovechamiento de los productos recogidos y menor necesidad de reprocesado.

Tabla 17-4 Estadísticos descriptivos del VAN con respecto a las variables Patrón de demanda, Escenario y Tasa de legislación.

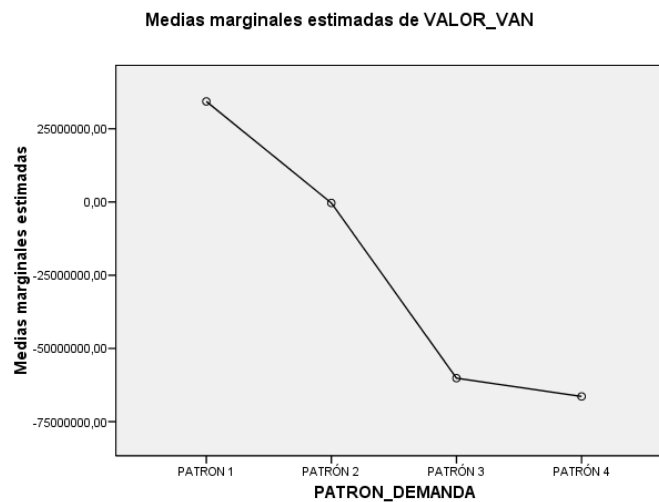
| ESCENARIO   | PATRON_DEMANDA    | TASA_LEGISLACION | VAN Medio        | Desv. típ.      | N  |
|-------------|-------------------|------------------|------------------|-----------------|----|
| ESCENARIO 1 | PATRÓN 1          | 1.000,00 €       | 44.500.000,00 €  | .               | 1  |
|             |                   | 5.000,00 €       | 24.600.000,00 €  | .               | 1  |
|             |                   | Media            | 34.550.000,00 €  | 14.071.424,94 € | 2  |
|             | PATRÓN 2          | 1.000,00 €       | 5.140.000,00 €   | .               | 1  |
|             |                   | 5.000,00 €       | -5.599.000,00 €  | .               | 1  |
|             |                   | Media            | -229.500,00 €    | 7.593.619,72 €  | 2  |
|             | PATRÓN 3          | 1.000,00 €       | -32.090.000,00 € | .               | 1  |
|             |                   | 5.000,00 €       | -83.810.000,00 € | .               | 1  |
|             |                   | Media            | -57.950.000,00 € | 36.571.562,72 € | 2  |
|             | PATRÓN 4          | 1.000,00 €       | -53.800.000,00 € | .               | 1  |
|             |                   | 5.000,00 €       | -77.290.000,00 € | .               | 1  |
|             |                   | Media            | -65.545.000,00 € | 16.609.938,29 € | 2  |
|             | Media Escenario 1 | 1.000,00 €       | -9.062.500,00 €  | 43.214.048,93 € | 4  |
|             |                   | 5.000,00 €       | -35.524.750,00 € | 53.498.715,10 € | 4  |
|             |                   | Media            | -22.293.625,00 € | 47.191.405,05 € | 8  |
| ESCENARIO 2 | PATRÓN 1          | 1.000,00 €       | 34.560.000,00 €  | .               | 1  |
|             |                   | 5.000,00 €       | 33.730.000,00 €  | .               | 1  |
|             |                   | Media            | 34.145.000,00 €  | 586.898,63 €    | 2  |
|             | PATRÓN 2          | 1.000,00 €       | -72.411,00 €     | .               | 1  |
|             |                   | 5.000,00 €       | -815.320,00 €    | .               | 1  |
|             |                   | Media            | -443.865,50 €    | 525.315,99 €    | 2  |
|             | PATRÓN 3          | 1.000,00 €       | -61.570.000,00 € | .               | 1  |
|             |                   | 5.000,00 €       | -63.180.000,00 € | .               | 1  |
|             |                   | Media            | -62.375.000,00 € | 1.138.441,92 €  | 2  |
|             | PATRÓN 4          | 1.000,00 €       | -66.650.000,00 € | .               | 1  |
|             |                   | 5.000,00 €       | -67.870.000,00 € | .               | 1  |
|             |                   | Media            | -67.260.000,00 € | 862.670,27 €    | 2  |
|             | Media Escenario 2 | 1.000,00 €       | -23.433.102,75 € | 49.095.298,57 € | 4  |
|             |                   | 5.000,00 €       | -24.533.830,00 € | 49.426.011,00 € | 4  |
|             |                   | Media            | -23.983.466,37 € | 45.610.556,29 € | 8  |
| Patrones    | PATRÓN 1          | 1.000,00 €       | 39.530.000,00 €  | 7.028.641,41 €  | 2  |
|             |                   | 5.000,00 €       | 29.165.000,00 €  | 6.455.884,91 €  | 2  |
|             |                   | Media            | 34.347.500,00 €  | 8.134.565,65 €  | 4  |
|             | PATRÓN 2          | 1.000,00 €       | 2.533.794,50 €   | 3.685.731,16 €  | 2  |
|             |                   | 5.000,00 €       | -3.207.160,00 €  | 3.382.572,57 €  | 2  |
|             |                   | Media            | -336.682,75 €    | 4.396.398,90 €  | 4  |
|             | PATRÓN 3          | 1.000,00 €       | -46.830.000,00 € | 20.845.507,90 € | 2  |
|             |                   | 5.000,00 €       | -73.495.000,00 € | 14.587.612,90 € | 2  |
|             |                   | Media            | -60.162.500,00 € | 21.278.752,12 € | 4  |
|             | PATRÓN 4          | 1.000,00 €       | -60.225.000,00 € | 9.086.322,14 €  | 2  |
|             |                   | 5.000,00 €       | -72.580.000,00 € | 6.660.945,88 €  | 2  |
|             |                   | Media            | -66.402.500,00 € | 9.653.591,30 €  | 4  |
|             | Total             | 1.000,00 €       | -16.247.801,37 € | 43.501.125,68 € | 8  |
|             |                   | 5.000,00 €       | -30.029.290,00 € | 48.042.733,78 € | 8  |
|             |                   | Media Patrones   | -23.138.545,69 € | 44.842.601,13 € | 16 |

Gráfica 17-9 Valor del VAN con respecto a la variable Escenario cuando se varía la Tasa impuesta por la legislación.



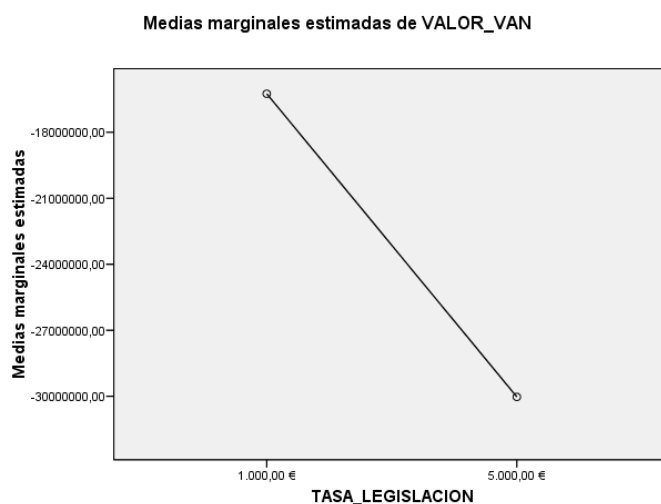
Cuando se varía la tasa impuesta por la legislación por el vertido incontrolado de productos usados los mejores resultados se presentan en el escenario 1 mostrando por lo tanto que, con los datos manejados, la recogida de productos usados por sí misma no reduce el impacto de las multas lo suficiente como para ser rentables.

Gráfica 17-10 Valor del VAN con respecto a la variable Patrón de demanda cuando se varía la Tasa impuesta por la legislación.



Cuando se varía la tasa impuesta por la legislación el único patrón de demanda que presenta beneficios en entre los escenarios 1 y 2 es el patrón 1.

Gráfica 17-11 Valor del VAN con respecto a la Tasa impuesta por la legislación.



Tal y como era de esperar los mejores resultados se obtienen para una Tasa impuesta por la legislación baja. Si bien al tratarse sólo de los escenarios 1 y 2 los resultados económicos no son buenos en ninguno de los dos casos.

Tabla 17-5 Estadísticos descriptivos del VAN con respecto a las variables Patrón de demanda, Escenario y Tasa de legislación.

Variable dependiente: VALOR\_VAN

| ESCENARIO   | PATRON_DEMANDA    | TIEMPO RESID | VAN Medio        | Desv. típ.      | N |
|-------------|-------------------|--------------|------------------|-----------------|---|
| ESCENARIO 1 | PATRÓN 1          | 3 Años       | 32.270.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años       | 36.680.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | Media        | 34.475.000,00 €  | 3.118.340,91 €  | 2 |
|             | PATRÓN 2          | 3 Años       | -1.473.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años       | 918.544,00 €     | .               | 1 |
|             |                   | Media        | -277.228,00 €    | 1.691.076,98 €  | 2 |
|             | PATRÓN 3          | 3 Años       | -59.410.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años       | -52.840.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | Media        | -56.125.000,00 € | 4.645.691,55 €  | 2 |
|             | PATRÓN 4          | 3 Años       | -66.890.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años       | -63.420.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | Media        | -65.155.000,00 € | 2.453.660,53 €  | 2 |
|             | Media Escenario 1 | 3 Años       | -23.875.750,00 € | 47.494.340,28 € | 4 |
|             |                   | 8 Años       | -19.665.364,00 € | 46.952.181,20 € | 4 |
|             |                   | Media        | -21.770.557,00 € | 43.778.849,65 € | 8 |
| ESCENARIO 2 | PATRÓN 1          | 3 Años       | 31.860.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años       | 36.130.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | Media        | 33.995.000,00 €  | 3.019.345,96 €  | 2 |
|             | PATRÓN 2          | 3 Años       | -1.682.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años       | 628.253,00 €     | .               | 1 |
|             |                   | Media        | -526.873,50 €    | 1.633.595,56 €  | 2 |
|             | PATRÓN 3          | 3 Años       | -65.130.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años       | -58.340.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | Media        | -6.1735.000,00 € | 4.801.255,04 €  | 2 |

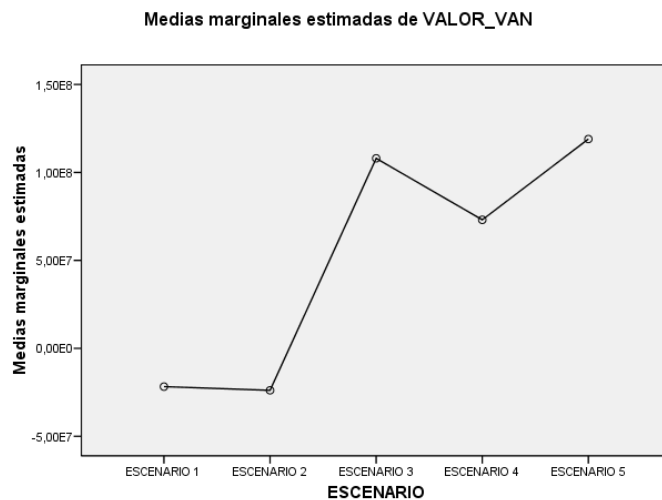
## COMPARACIÓN DE ESCENARIOS

|             |                   |        |                  |                 |   |
|-------------|-------------------|--------|------------------|-----------------|---|
| ESCENARIO 3 | PATRÓN 4          | 3 Años | -6.8980.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años | -6.5510.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | Media  | -6.7245.000,00 € | 2.453.660,53 €  | 2 |
|             | Media Escenario 2 | 3 Años | -2.5983.000,00 € | 49.388.193,15 € | 4 |
|             |                   | 8 Años | -2.1772.936,75 € | 48.664.306,57 € | 4 |
|             |                   | Media  | -2.3877.968,37 € | 45.446.474,54 € | 8 |
|             | PATRÓN 1          | 3 Años | 22.5490.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años | 12.1810.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | Media  | 17.3650.000,00 € | 73.312.831,07 € | 2 |
|             | PATRÓN 2          | 3 Años | 9.7520.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años | 4.3940.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | Media  | 7.0730.000,00 €  | 37.886.781,33 € | 2 |
| ESCENARIO 4 | PATRÓN 3          | 3 Años | 21.1460.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años | 8.4580.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | Media  | 14.8020.000,00 € | 89.717.708,40 € | 2 |
|             | PATRÓN 4          | 3 Años | 7.3610.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años | 5.591.000,00 €   | .               | 1 |
|             |                   | Media  | 3.9600.500,00 €  | 48.096.696,15 € | 2 |
|             | Media Escenario 3 | 3 Años | 15.2020.000,00 € | 77.565.741,15 € | 4 |
|             |                   | 8 Años | 6.3980.250,00 €  | 50.264.453,38 € | 4 |
|             |                   | Media  | 10.8000.125,00 € | 76.654.021,96 € | 8 |
|             | PATRÓN 1          | 3 Años | 15.4250.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años | 116.190.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | Media  | 135.220.000,00 € | 26.912.484,09 € | 2 |
| ESCENARIO 5 | PATRÓN 2          | 3 Años | 62.070.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años | 42.460.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | Media  | 52.265.000,00 €  | 13.866.363,98 € | 2 |
|             | PATRÓN 3          | 3 Años | 113.080.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años | 72.950.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | Media  | 93.015.000,00 €  | 28.376.195,13 € | 2 |
|             | PATRÓN 4          | 3 Años | 22.100.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años | 1.336.000,00 €   | .               | 1 |
|             |                   | Media  | 11.718.000,00 €  | 14.682.365,20 € | 2 |
|             | Media Escenario 4 | 3 Años | 87.875.000,00 €  | 57.830.733,76 € | 4 |
|             |                   | 8 Años | 58.234.000,00 €  | 48.516.870,17 € | 4 |
|             |                   | Media  | 73.054.500,00 €  | 51.895.525,73 € | 8 |
| ESCENARIO 5 | PATRÓN 1          | 3 Años | 225.380.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años | 159.690.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | Media  | 192.535.000,00 € | 46.449.844,46 € | 2 |
|             | PATRÓN 2          | 3 Años | 79.960.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años | 54.540.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | Media  | 67.250.000,00 €  | 17.974.654,38 € | 2 |
|             | PATRÓN 3          | 3 Años | 213.820.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años | 146.150.000,00 € | .               | 1 |
|             |                   | Media  | 179.985.000,00 € | 47.849.915,88 € | 2 |
|             | PATRÓN 4          | 3 Años | 49.780.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | 8 Años | 22.480.000,00 €  | .               | 1 |
|             |                   | Media  | 36.130.000,00 €  | 19.304.015,13 € | 2 |
| Total       |                   | 3 Años | 142.235.000,00 € | 90.302.465,64 € | 4 |
|             |                   | 8 Años | 95.715.000,00 €  | 67.565.365,14 € | 4 |



|          |                |        |                  |                  |    |
|----------|----------------|--------|------------------|------------------|----|
| Patrones | PATRON 1       | Media  | 118.975.000,00 € | 77.907.511,47 €  | 8  |
|          |                | 3 Años | 133.850.000,00 € | 97.355.337,55 €  | 5  |
|          |                | 8 Años | 94.100.000,00 €  | 55.261.735,41 €  | 5  |
|          | PATRÓN 2       | Media  | 113.975.000,00 € | 77.515.475,77 €  | 10 |
|          |                | 3 Años | 47.279.000,00 €  | 46.327.412,37 €  | 5  |
|          |                | 8 Años | 28.497.359,40 €  | 25.733.867,57 €  | 5  |
|          | PATRÓN 3       | Media  | 37.888.179,70 €  | 36.690.476,16 €  | 10 |
|          |                | 3 Años | 82.764.000,00 €  | 138.513.065,20 € | 5  |
|          |                | 8 Años | 38.500.000,00 €  | 90.304.585,43 €  | 5  |
|          | PATRÓN 4       | Media  | 60.632.000,00 €  | 112.675.248,08 € | 10 |
|          |                | 3 Años | 1.924.000,00 €   | 66.330.411,80 €  | 5  |
|          |                | 8 Años | -19.904.600,00 € | 41.446.005,75 €  | 5  |
|          | Media Patrones | Media  | -8.990.300,00 €  | 53.397.044,38 €  | 10 |
|          |                | 3 Años | 66.454.250,00 €  | 99.350.450,11 €  | 20 |
|          |                | 8 Años | 35.298.189,85 €  | 67.731.141,24 €  | 20 |
|          |                | Media  | 50.876.219,92 €  | 85.396.416,49 €  | 40 |

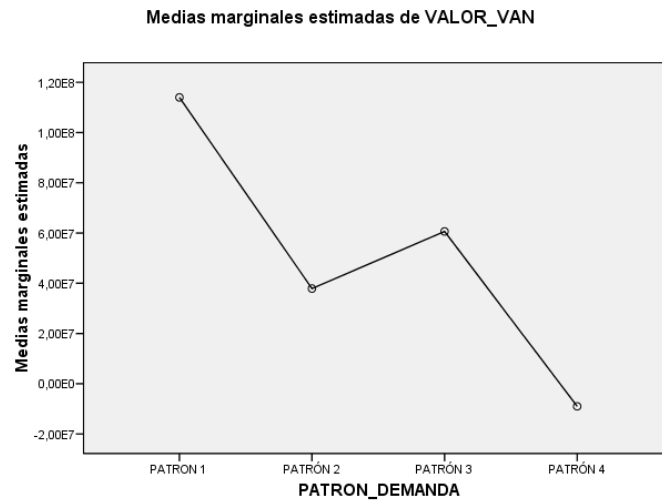
Gráfica 17-12 Valor del VAN con respecto a la variable Escenario cuando se varía el Tiempo de residencia.



Como puede observarse los escenarios 1 y 2 en los que no se activa ninguna de las opciones ni de reprocesado ni de canibalización de componentes no presentan beneficios. El peor resultado se presenta en el escenario 2 cuando la recogida de productos no va acompañada de ninguna otra opción de recuperación de valor.

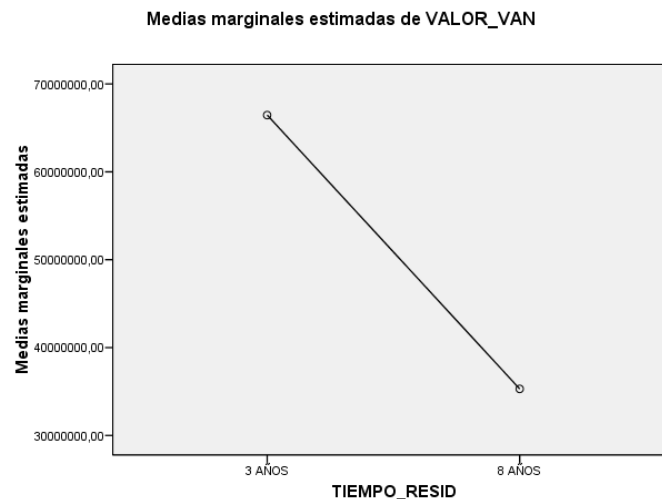
El reprocesado (Escenario 3) presenta mejores expectativas económicas que la canibalización de componentes (Escenario 4) si bien la aplicación de las dos medidas a la vez es la que produce los mejores resultados (Escenario 5).

Gráfica 17-13 Valor del VAN con respecto a la variable Patrón de demanda cuando se varía el Tiempo de residencia.



Con los datos manejados en el modelo el mejor de los resultados se presenta para el patrón de demanda 1 seguido por el patrón de demanda 3. Esto es debido a que con el tiempo se prevé que los costes superen a los ingresos y por lo tanto las expectativas de un patrón de demanda de productos a largo plazo no general un buen rendimiento económico. Este hecho difiere de otros estudios realizados como es el caso de (Georgiadis, Vlachos 2004).

Gráfica 17-14 Valor del VAN con respecto a la variable Tiempo de residencia.



Tal y como se esperaba los mejores resultados se obtienen para los tiempo de residencia menores.

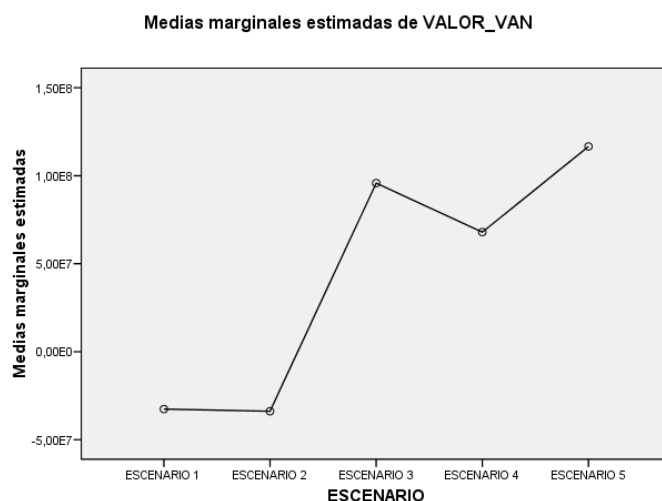
Tabla 17-6 Estadísticos descriptivos del VAN con respecto a las variables Patrón de demanda, Escenario y Tasa de descuento anual del VAN.

| ESCENARIO   | PATRON_DEMANDA    | TASA_DESC.<br>ANUAL | VAN Medio         | Desv. típ.       | N |
|-------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------------|---|
| ESCENARIO 1 | PATRÓN 1          | 3%                  | 28.700.000,00 €   | .                | 1 |
|             |                   | 7%                  | 36.990.000,00 €   | .                | 1 |
|             |                   | Media               | 32.845.000,00 €   | 5.861.915,22 €   | 2 |
|             | PATRÓN 2          | 3%                  | -10.450.000,00 €  | .                | 1 |
|             |                   | 7%                  | 5.692.000,00 €    | .                | 1 |
|             |                   | Media               | -2.379.000,00 €   | 11.414.117,66 €  | 2 |
|             | PATRÓN 3          | 3%                  | -147.740.000,00 € | .                | 1 |
|             |                   | 7%                  | -10.160.000,00 €  | .                | 1 |
|             |                   | Media I             | -78.950.000,00 €  | 97.283.750,96 €  | 2 |
|             | PATRÓN 4          | 3%                  | -135.690.000,00 € | .                | 1 |
|             |                   | 7%                  | -28.030.000,00 €  | .                | 1 |
|             |                   | Media               | -81.860.000,00 €  | 76.127.116,06 €  | 2 |
|             | Media Escenario 1 | 3%                  | -66.295.000,00 €  | 88.678.573,32 €  | 4 |
|             |                   | 7%                  | 1.123.000,00 €    | 27.595.415,97 €  | 4 |
|             |                   | Media               | -32.586.000,00 €  | 70.676.893,07 €  | 8 |
| ESCENARIO 2 | PATRÓN 1          | 3%                  | 27.780.000,00 €   | .                | 1 |
|             |                   | 7%                  | 36.700.000,00 €   | .                | 1 |
|             |                   | Media               | 32.240.000,00 €   | 6.307.392,49 €   | 2 |
|             | PATRÓN 2          | 3%                  | -10.660.000,00 €  | .                | 1 |
|             |                   | 7%                  | 5.701.000,00 €    | .                | 1 |
|             |                   | Media               | -2.479.500,00 €   | 11.568.974,05 €  | 2 |
|             | PATRÓN 3          | 3%                  | -159.840.000,00 € | .                | 1 |
|             |                   | 7%                  | -1.342.000,00 €   | .                | 1 |
|             |                   | Media               | -80.591.000,00 €  | 112.075.010,60 € | 2 |
|             | PATRÓN 4          | 3%                  | -139.880.000,00 € | .                | 1 |
|             |                   | 7%                  | -29.130.000,00 €  | .                | 1 |
|             |                   | Media               | -84.505.000,00 €  | 78.312.076,01 €  | 2 |
|             | Media Escenario 2 | 3%                  | -70.650.000,00 €  | 93.157.418,74 €  | 4 |
|             |                   | 7%                  | 2.982.250,00 €    | 27.044.247,72 €  | 4 |
|             |                   | Media               | -33.833.875,00 €  | 74.711.353,59 €  | 8 |
| ESCENARIO 3 | PATRÓN 1          | 3%                  | 191.020.000,00 €  | .                | 1 |
|             |                   | 7%                  | 135.980.000,00 €  | .                | 1 |
|             |                   | Media               | 163.500.000,00 €  | 38.919.157,24 €  | 2 |
|             | PATRÓN 2          | 3%                  | 73.900.000,00 €   | .                | 1 |
|             |                   | 7%                  | 56.220.000,00 €   | .                | 1 |
|             |                   | Media               | 65.060.000,00 €   | 12.501.647,89 €  | 2 |
|             | PATRÓN 3          | 3%                  | 136.380.000,00 €  | .                | 1 |
|             |                   | 7%                  | 121.960.000,00 €  | .                | 1 |
|             |                   | Media               | 129.170.000,00 €  | 10.196.479,78 €  | 2 |
|             | PATRÓN 4          | 3%                  | 11.180.000,00 €   | .                | 1 |
|             |                   | 7%                  | 39.590.000,00 €   | .                | 1 |
|             |                   | Media               | 25.385.000,00 €   | 20.088.903,65 €  | 2 |
|             | Media Escenario 3 | 3%                  | 103.120.000,00 €  | 77.759.050,06 €  | 4 |
|             |                   | 7%                  | 88.437.500,00 €   | 47.637.845,16 €  | 4 |
|             |                   | Media               | 95.778.750,00 €   | 60.212.307,82 €  | 8 |
| ESCENARIO 4 | PATRÓN 1          | 3%                  | 153.480.000,00 €  | .                | 1 |

## COMPARACIÓN DE ESCENARIOS

|             |                   |       |                  |                  |    |
|-------------|-------------------|-------|------------------|------------------|----|
| ESCENARIO 5 | PATRÓN 2          | 7%    | 112.600.000,00 € | .                | 1  |
|             |                   | Media | 133.040.000,00 € | 28.906.525,21 €  | 2  |
|             |                   | 3%    | 57.300.000,00 €  | .                | 1  |
|             | PATRÓN 3          | 7%    | 46.070.000,00 €  | .                | 1  |
|             |                   | Media | 51.685.000,00 €  | 7.940.809,15 €   | 2  |
|             |                   | 3%    | 75.450.000,00 €  | .                | 1  |
|             | PATRÓN 4          | 7%    | 93.390.000,00 €  | .                | 1  |
|             |                   | Media | 84.420.000,00 €  | 12.685.495,65 €  | 2  |
|             |                   | 3%    | -19.900.000,00 € | .                | 1  |
|             | Media Escenario 4 | 7%    | 25.250.000,00 €  | .                | 1  |
|             |                   | Media | 2.675.000,00 €   | 31.925.871,17 €  | 2  |
|             |                   | 3%    | 66.582.500,00 €  | 71.169.271,63 €  | 4  |
|             | PATRON 1          | 7%    | 69.327.500,00 €  | 40.559.628,84 €  | 4  |
|             |                   | Media | 67.955.000,00 €  | 53.646.350,16 €  | 8  |
|             |                   | 3%    | 226.480.000,00 € | .                | 1  |
|             | PATRÓN 2          | 7%    | 158.910.000,00 € | .                | 1  |
|             |                   | Media | 192.695.000,00 € | 47.779.205,20 €  | 2  |
|             |                   | 3%    | 76.630.000,00 €  | .                | 1  |
|             | PATRÓN 3          | 7%    | 58.000.000,00 €  | .                | 1  |
|             |                   | Media | 67.315.000,00 €  | 13.173.399,33 €  | 2  |
|             |                   | 3%    | 198.350.000,00 € | .                | 1  |
|             | PATRÓN 4          | 7%    | 156.970.000,00 € | .                | 1  |
|             |                   | Media | 177.660.000,00 € | 29.260.078,60 €  | 2  |
|             |                   | 3%    | 15.510.000,00 €  | .                | 1  |
|             | Media Escenario 5 | 7%    | 41.880.000,00 €  | .                | 1  |
|             |                   | Media | 28.695.000,00 €  | 18.646.405,82 €  | 2  |
|             |                   | 3%    | 129.242.500,00 € | 99.890.164,14 €  | 4  |
| Patrones    | PATRON 1          | 7%    | 103.940.000,00 € | 62.705.153,96 €  | 4  |
|             |                   | Media | 116.591.250,00 € | 78.385.837,54 €  | 8  |
|             |                   | 3%    | 125.492.000,00 € | 92.455.596,48 €  | 5  |
|             | PATRÓN 2          | 7%    | 96.236.000,00 €  | 56.634.839,37 €  | 5  |
|             |                   | Media | 110.864.000,00 € | 73.908.316,51 €  | 10 |
|             |                   | 3%    | 37.344.000,00 €  | 44.346.993,47 €  | 5  |
|             | PATRÓN 3          | 7%    | 34.336.600,00 €  | 26.537.817,67 €  | 5  |
|             |                   | Media | 35.840.300,00 €  | 34.490.348,93 €  | 10 |
|             |                   | 3%    | 20.520.000,00 €  | 165.004.174,64 € | 5  |
|             | PATRÓN 4          | 7%    | 72.163.600,00 €  | 74.670.300,89 €  | 5  |
|             |                   | Media | 46.341.800,00 €  | 123.772.093,20 € | 10 |
|             |                   | 3%    | -53.756.000,00 € | 77.928.196,63 €  | 5  |
|             | Media Patrones    | 7%    | 9.912.000,00 €   | 35.713.667,13 €  | 5  |
|             |                   | Media | -21.922.000,00 € | 66.271.424,18 €  | 10 |
|             |                   | 3%    | 32.400.000,00 €  | 116.195.903,13 € | 20 |
|             |                   | 7%    | 53.162.050,00 €  | 58.605.938,68 €  | 20 |
|             |                   | Media | 42.781.025,00 €  | 91.441.078,45 €  | 40 |

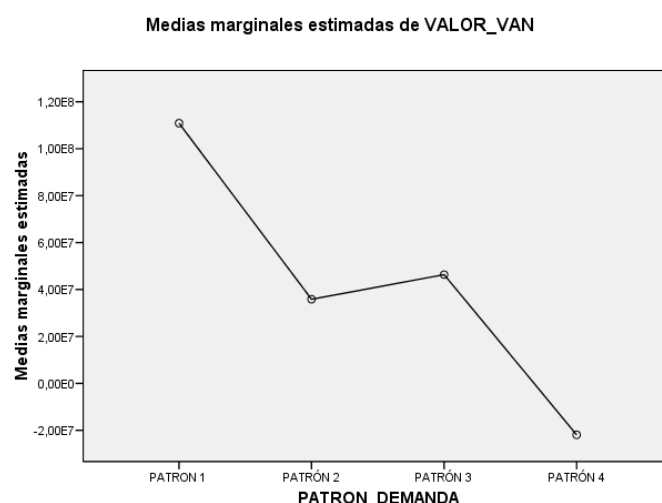
Gráfica 17-15 Valor del VAN con respecto a la variable Escenario cuando se varía la Tasa de descuento del VAN.



Se produce un comportamiento similar a los anteriores. Los escenarios 1 y 2, en los que no se activa ninguna de las opciones ni de reprocesado ni de canibalización de componentes, no presentan beneficios. El peor resultado lo aporta el escenario 2 cuando la recogida de productos no va acompañada de ninguna otra opción de recuperación de valor.

El reprocesado (Escenario 3) presenta mejores expectativas económicas que la canibalización de componentes (Escenario 4) si bien la aplicación de las dos medidas a la vez es la que produce los mejores resultados (Escenario 5).

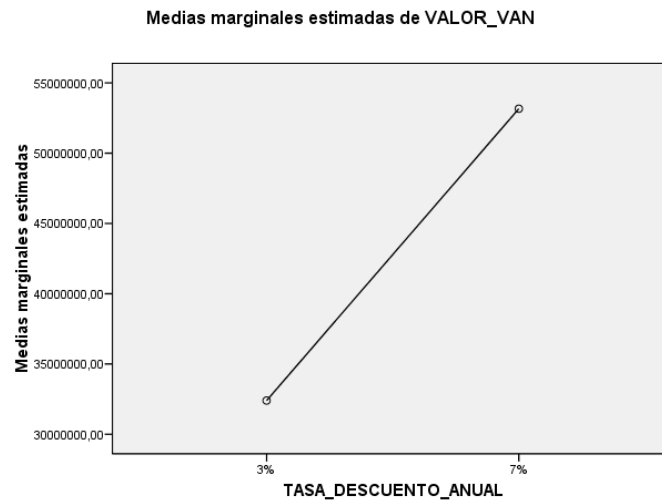
Gráfica 17-16 Valor del VAN con respecto a la variable Patrón de demanda cuando se varía la Tasa de descuento del VAN.



Se produce un comportamiento similar a los anteriores donde con los datos manejados en el modelo el mejor de los resultados se presenta para el patrón de demanda 1 seguido por el patrón de demanda 3. Esto es debido a que con el tiempo se prevé que los costes superen a los ingresos y por lo tanto las expectativas de un patrón de demanda de productos a largo plazo no general un buen rendimiento

económico si no va acompañada de unas ventas elevada. Este hecho difiere de otros estudios realizados como es el caso de (Georgiadis, Vlachos 2004).

Gráfica 17-17 Valor del VAN con respecto a la variable Patrón de demanda cuando se varía la Tasa de descuento del VAN.



En este caso dado que se con el tiempo los costes son superiores a los ingresos las tasa de descuento del VAN altas presentan mejores resultados ya que atenúan en mayor medida los valores negativos de los últimos años.



## 18. CONCLUSIONES

La Gestión de la Cadena de Suministro (SCM) es una de las disciplinas de la Dirección de Operaciones que más se ha desarrollado en las dos últimas décadas. Dentro de la SCM la Gestión de la cadena de suministro inversa (GSCM) es un área relativamente joven (1990) que tiene una gran proyección de futuro debido a las tendencias en legislación medioambiental, oportunidades de nuevos negocios y la presión de unos consumidores cada vez más concienciados con el medioambiente.

Dentro de las múltiples posibilidades disponibles para el estudio de la Gestión de la Cadena de Suministro Inversa en esta tesis se ha construido un modelo de simulación de una red de logística inversa mediante dinámica de sistemas que mejora en diversos aspectos los modelos estudiados por otros autores sobre las redes de logística inversa. Ol0oló'!0oll

El modelo que se ha desarrollado es aplicable a todo tipo de productos y todos los parámetros y variables que lo constituyen son susceptibles de modificarse para adaptarse a cada caso concreto. Un buen ejemplo de esta fase de adaptación es el presentado en el caso de estudio sobre las baterías de ión litio en el que si bien se muestra el comportamiento del modelo al caso tratado no se ha desarrollado todo su potencial.

Las opciones de análisis que presenta el modelo son muy diversas, por un lado cada parámetro y cada variable pueden representarse en función del tiempo con lo que se pueden observar con una precisión razonable los fenómenos transitorios vinculados al cambio de los mismos. También es posible representar cualquier variable en función de otras de las implicadas en el modelo.

Además, se dispone de la posibilidad de aplicar el método de Montecarlo a uno o varios parámetros del modelo a la vez pudiendo con ello realizar un análisis multivariante y los consiguientes estudios de sensibilidad.

A pesar de que en el caso de estudio se ha seguido el enfoque basado en el ciclo de vida del producto es posible también trabajar con cualquier curva de demanda ya sea de tipo estacional o transitoria.



En los siguientes apartados se extraen las principales conclusiones de la tesis doctoral y se presentan las principales aportaciones y limitaciones del trabajo así como las futuras líneas de investigación.

### 18.1. CONCLUSIONES SOBRE LOS OBJETIVOS GENERALES

De los resultados obtenidos con el modelo podemos comprobar el grado de cumplimiento de los objetivos generales propuestos:

| Nº | Objetivos Generales propuestos                                                                                                                                                                                                           | Resultado                                                                                |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | El modelo debe representar correctamente los desfases temporales fruto de los retardos, tiempos de suministro y tiempos de operación (Producción, reprocesado, inspección y desensamblado).                                              | El modelo obtenido representa el comportamiento buscado.                                 |
| 2  | El modelo debe representar los efectos de la acumulación de inventarios al producirse cambios en la demanda.                                                                                                                             | El modelo obtenido representa el comportamiento buscado.                                 |
| 3  | El modelo debe representar coherentemente las inercias propias del sistema al finalizar las ventas y mantener la estructura de recogida de productos usados y sus costes asociados.                                                      | El modelo obtenido representa el comportamiento buscado.                                 |
| 4  | El modelo debe estar preparado para representar distintas proyecciones de evolución de los precios y costes durante el periodo de simulación siendo así una buena herramienta para hacer estudios de tipo “qué pasa si...”.              | El modelo obtenido permite las opciones buscadas.                                        |
| 5  | El modelo debe permitir la realización de análisis de sensibilidad mediante la variación de uno o varios de sus parámetros (análisis multivariante) y permite ver la evolución de dicho análisis sobre todas las variables que se desee. | El modelo obtenido permite realizar análisis de sensibilidad en los términos propuestos. |
| 6  | El modelo debe representar el efecto látigo o efecto bullwhip propio de las cadenas de suministro.                                                                                                                                       | El modelo obtenido representa el comportamiento buscado.                                 |
| 7  | El modelo debe representar la liquidación de intereses derivados de la aplicación de las condiciones de un préstamo.                                                                                                                     | El modelo obtenido representa el comportamiento buscado.                                 |
| 8  | El modelo debe representar la liquidación de intereses derivados de la aplicación de las condiciones de la línea de crédito.                                                                                                             | El modelo obtenido representa el comportamiento buscado.                                 |
| 9  | El modelo debe generar un crecimiento y reducción de la capacidad de recogida que se ajuste razonablemente a la capacidad de recogida deseada.                                                                                           | El modelo obtenido representa el comportamiento buscado.                                 |
| 10 | El modelo debe representar los costes asociados al crecimiento o reducción de la capacidad de reprocesado.                                                                                                                               | El modelo obtenido representa el comportamiento buscado.                                 |
| 11 | El modelo debe generar un crecimiento y reducción de la capacidad de reprocesado coherente con la                                                                                                                                        | El modelo obtenido representa                                                            |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                          |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|    | capacidad de reprocesado deseada. Además debe permitir la venta de los activos vinculados a la planta de reprocesado.                                                                                                                                                                                              | el comportamiento buscado.                               |
| 12 | El modelo debe representar cómo evoluciona el ratio de producción cuando se comienza a disponer de productos reprocesados a través del ratio de reprocesado.                                                                                                                                                       | El modelo obtenido representa el comportamiento buscado. |
| 13 | El modelo debe permitir la venta de productos usados a mercados secundarios a precios reducidos.                                                                                                                                                                                                                   | El modelo obtenido representa el comportamiento buscado. |
| 14 | El modelo debe representar cómo evoluciona el ratio de compra de materiales a medida que se comienza a disponer de materiales canibalizables a través del ratio de canibalización.                                                                                                                                 | El modelo obtenido representa el comportamiento buscado. |
| 15 | El modelo debe permitir la venta de materiales desensamblados a mercados secundarios a precios reducidos.                                                                                                                                                                                                          | El modelo obtenido representa el comportamiento buscado. |
| 16 | El modelo debe representar el flujo de materiales provenientes del desensamblado de productos teniendo en cuenta las posibles mermas por la aparición de materiales defectuosos.                                                                                                                                   | El modelo obtenido representa el comportamiento buscado. |
| 17 | El modelo debe integrar las opciones de recogida, reprocesado, canibalización de componentes, venta de productos en mercados secundarios, venta de materiales desensamblados en mercados secundarios, vertido controlado de productos, vertido controlado de materiales y su correspondiente vertido incontrolado. | El modelo obtenido representa el comportamiento buscado. |

Podemos concluir que se han alcanzado los objetivos generales propuestos para el modelo desarrollado.

En los siguientes apartados se recogen las conclusiones generales asociadas a cada uno de los escenarios planteados y que han sido recogidos en la tabla anterior.

Del comportamiento del modelo en este escenario 1 se deduce que:

- El modelo representa correctamente los desfases temporales fruto de los retardos, tiempos de suministro y tiempos de operación (Producción, reprocesado, inspección y desensamblado).
- El modelo representa los efectos de la acumulación de inventarios al producirse cambios en la demanda.
- El modelo representa coherentemente las inercias propias del sistema al finalizar las ventas y mantener la estructura de recogida de productos usados y sus costes asociados.
- El modelo está preparado para representar distintas proyecciones de evolución de los precios y costes durante el periodo de simulación siendo así una buena herramienta para hacer estudios de tipo “qué pasa si...”.
- El modelo permite la realización de análisis de sensibilidad mediante la variación de uno o varios de sus parámetros (análisis multivariante) y permite ver la evolución de dicho análisis sobre todas las variables que se desee. Constituye por lo tanto una buena herramienta de estudio.
- El modelo representa el efecto látigo o efecto bullwhip propio de las cadenas de suministro.

- El modelo representa coherentemente la liquidación de intereses derivados de la aplicación de las condiciones de la línea de crédito.

Del comportamiento del modelo en este escenario 2 se deduce que:

- El modelo genera un crecimiento y reducción de la capacidad de recogida que se ajusta razonablemente a la capacidad de recogida deseada.
- El modelo representa los costes asociados al crecimiento o reducción de la capacidad de reprocesado.

Del comportamiento del modelo en este escenario 3 se deduce que:

- El modelo genera un crecimiento y reducción de la capacidad de reprocesado coherente con la capacidad de reprocesado deseada.
- El modelo representa cómo evoluciona el ratio de producción cuando se comienza a disponer de productos reprocesados a través del ratio de reprocesado.
- El modelo permite la venta de productos usados a mercados secundarios a precios reducidos.

Del comportamiento del modelo en este escenario 4 se deduce que:

- El modelo representa cómo evoluciona el ratio de compra de materiales a medida que se comienza a disponer de materiales canibalizables a través del ratio de canibalización.
- El modelo permite la venta de materiales desensamblados a mercados secundarios a precios reducidos.
- El modelo representa el flujo de materiales provenientes del desensamblado de productos teniendo en cuenta las posibles mermas por la aparición de materiales defectuosos.

Del comportamiento del modelo en este escenario 5 se deduce que:

- El modelo integra las opciones de reprocesado, canibalización de componentes, venta de productos en mercados secundarios, venta de materiales desensamblados en mercados secundarios, vertido controlado de productos, vertido controlado de materiales y su correspondiente vertido incontrolado.

## **18.2. CONCLUSIONES SOBRE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Como conclusiones a los objetivos específicos planteados en el caso de estudio tenemos los siguientes:

| Nº Hipótesis | Hipótesis específicas                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Resultado                                    |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1            | El tipo de patrón de demanda, en el caso simulado, influye en el Valor Actual Neto del conjunto de la red.                                                                                                                                                                                                    | Se sostiene                                  |
| 2            | Los patrones de demanda con mayor número de ventas por período y mayor duración siempre producen los mejores resultados del Valor Actual Neto                                                                                                                                                                 | No se sostiene                               |
| 3            | Una tasa de descuento del Valor Actual Neto elevada producirá, en el caso simulado, peores resultados que una tasa de descuento baja.                                                                                                                                                                         | No se sostiene para flujos de caja negativos |
| 4            | Un tiempo de residencia elevado producirá, en el caso simulado, peores resultados que un tiempo de residencia bajo.                                                                                                                                                                                           | Se sostiene                                  |
| 5            | Un Porcentaje de error en los productos usados elevado producirá, en el caso simulado, peores resultados que un Porcentaje de error bajo.                                                                                                                                                                     | Se sostiene                                  |
| 6            | Un Porcentaje de productos desensamblados sin defectos elevado producirá, en el caso simulado, mejores resultados que un tiempo de residencia bajo.                                                                                                                                                           | Se sostiene                                  |
| 7            | El hecho de establecer un sistema de recogida de productos usados, en el caso simulado, reduce el impacto de las multas impuestas por vertido incontrolado lo suficiente como para hacer que el Valor Actual Neto sea superior al obtenido si no hay sistema de recogida.                                     | No se sostiene                               |
| 8            | El hecho de establecer un sistema de recogida de productos usados unido al reprocesado, en el caso simulado, hace que el Valor Actual Neto sea superior al obtenido si no hay sistema de recogida.                                                                                                            | Se sostiene                                  |
| 9            | El hecho de establecer un sistema de recogida de productos usados unido a la canibalización de componentes, en el caso simulado, hace que el Valor Actual Neto sea superior al obtenido si no hay sistema de recogida.                                                                                        | Se sostiene                                  |
| 10           | El hecho de establecer un sistema mixto que integre la recogida de productos, la canibalización de componentes y el reprocesado, en el caso simulado, hace que el Valor Actual Neto sea superior al obtenido si sólo se vincula la recogida al reprocesado y a la canibalización de componentes por separado. | Se sostiene                                  |

En los siguientes apartados se recogen las conclusiones específicas asociadas a cada uno de los escenarios planteados y que han sido recogidos en la tabla anterior.

En el escenario 1 del caso de estudio de las baterías de litio con los datos manejados se observa lo siguiente:

- Con los parámetros de simulación empleados se puede observar que sólo los patrones de demanda 1 y 2, de corta duración producen beneficios mientras que los patrones 3 y 4 de mayor duración, producen pérdidas. Este hecho difiere de los estudios llevados a cabo por (Georgiadis, Vlachos 2004) en los que un patrón de demanda de mayor duración produce más beneficios. La

razón para que esto se produzca reside en el hecho de que en el modelo de (Georgiadis, Vlachos 2004) los precios y costes permanecían constantes durante todo el período de simulación mientras que en el modelo que se ha desarrollado en este trabajo varían según las condiciones indicadas en el apartado 11.2 Datos y parámetros empleados.

- Del análisis de sensibilidad realizado sobre la tasa de descuento anual entre un 3% y un 7% se deduce que sólo el patrón de demanda 1 produce beneficios, el patrón de demanda 2 puede producir beneficios o pérdidas y los patrones 3 y 4 producen siempre pérdidas.
- Del análisis de sensibilidad realizado sobre el tiempo de residencia entre 3 y 8 años se deduce que también en este caso sólo el patrón de demanda 1 produce beneficios, el patrón de demanda 2 puede producir beneficios o pérdidas y los patrones 3 y 4 producen siempre pérdidas.
- Del análisis de sensibilidad realizado sobre la tasa impuesta por la legislación entre 1.000 y 5.000 €/ud se deduce que también en este caso sólo el patrón de demanda 1 produce beneficios, el patrón de demanda 2 puede producir beneficios o pérdidas y los patrones 3 y 4 producen siempre pérdidas.
- Aunque el VAN es sensible a los tres parámetros (Tasa de descuento anual, Tiempo de residencia y Tasa impuesta por la legislación) se muestra más sensible a la Tasa impuesta por la legislación, seguida de la Tasa de descuento anual y finalmente del Tiempo de residencia tal y como puede observarse en los gráficos.
- En análisis de sensibilidad multivariante sobre los tiempos de suministro variando entre 2 y 12 días según una distribución uniforme muestra que los Productos usados son muy sensibles a dicha variación para todos los patrones de demanda.
- En análisis de sensibilidad multivariante sobre los tiempos de suministro variando entre 2 y 12 días según una distribución uniforme muestra que el Inventario de los Minoristas es muy sensible a dicha variación para todos los patrones de demanda. En el caso de los patrones de demanda con alta demanda (1 y 3) el inventario puede llegar a doblarse y en los patrones con baja demanda (2 y 4) el inventario puede llegar a triplicarse.
- En análisis de sensibilidad multivariante sobre los tiempos de suministro variando entre 2 y 12 días según una distribución uniforme muestra que el Inventario de los Mayoristas, de los distribuidores y el Inventario útil de la

planta de producción también son muy sensibles a dicha variación para todos los patrones de demanda.

En el escenario 2 del caso de estudio de las baterías de litio con los datos manejados se observa lo siguiente:

- Con los parámetros de simulación empleados se puede observar que sólo el patrón de demanda 1 produce beneficios mientras que los demás patrones 2, 3 y 4 producen pérdidas. Este hecho difiere de los estudios llevados a cabo por (Georgiadis, Vlachos 2004) en los que un patrón de demanda de mayor duración produce más beneficios. La razón para que esto se produzca reside en el hecho de que en el modelo de (Georgiadis, Vlachos 2004) los precios y costes permanecían constantes durante todo el período de simulación mientras que en el modelo que se ha desarrollado en este trabajo varían según las condiciones indicadas en el apartado 11.2 Datos y parámetros empleados.
- Del análisis de sensibilidad realizado sobre la tasa de descuento anual entre un 3% y un 7% se deduce que sólo el patrón de demanda 1 produce beneficios, el patrón de demanda 2 puede producir beneficios o pérdidas y los patrones 3 y 4 producen siempre pérdidas.
- Del análisis de sensibilidad realizado sobre el tiempo de residencia entre 3 y 8 años se deduce que también en este caso sólo el patrón de demanda 1 produce beneficios, el patrón de demanda 2 puede producir beneficios o pérdidas y los patrones 3 y 4 producen siempre pérdidas.
- Del análisis de sensibilidad realizado sobre la tasa impuesta por la legislación entre 1.000 y 5.000 €/ud se deduce que también en este caso sólo el patrón de demanda 1 produce beneficios, los demás patrones 2,3 y 4 producen siempre pérdidas.
- En el modelo propuesto y con los datos manejados se puede concluir que el escenario 2 produce menores beneficios económicos que el escenario 1; es decir, el establecimiento de un sistema de recogida no produce beneficios económicos por sí mismo.
- En el modelo propuesto y con los datos manejados se puede concluir que el escenario 2 produce mayores beneficios medioambientales que el escenario 1 al reducirse drásticamente la cantidad de productos que son incontroladamente desechados.

En el escenario 3 del caso de estudio de las baterías de litio con los datos manejados se observa lo siguiente:

- Con los parámetros de simulación empleados se puede observar que todos los patrones de demanda producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4. Este hecho difiere de los estudios llevados a cabo por (Georgiadis, Vlachos 2004) en los que un patrón de demanda de mayor duración produce más beneficios. La razón para que esto se produzca reside en el hecho de que en el modelo de (Georgiadis, Vlachos 2004) los precios y costes permanecían constantes durante todo el período de simulación mientras que en el modelo que se ha desarrollado en este trabajo varían según las condiciones indicadas en el apartado 11.2 Datos y parámetros empleados.
- Del análisis de sensibilidad realizado sobre la tasa de descuento anual entre un 3% y un 7% se deduce que todos los patrones de demanda producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.
- Del análisis de sensibilidad realizado sobre el tiempo de residencia entre 3 y 8 años y de los tiempos de producción, reprocesado e inspección entre 2 y 12 días todos los patrones de demanda producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.
- Del análisis de sensibilidad realizado sobre el Porcentaje de error entre un 5 y un 25% se deduce que también todos los patrones de demanda producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.
- En el modelo propuesto y con los datos manejados se puede concluir que el escenario 3 produce mayores beneficios económicos que los escenarios 1 y 2; es decir, el establecimiento de un sistema de recogida junto con un sistema de reprocesado produce beneficios económicos por sí mismo para todos los patrones de demanda.

- De todos los factores empleados en el análisis de sensibilidad se deduce que una mejora tecnológica que produzca a tiempos de producción, reprocesado e inspección bajos produce los mayores beneficios de la simulación.

En el escenario 4 del caso de estudio de las baterías de litio con los datos manejados se observa lo siguiente:

- Con los parámetros de simulación empleados se puede observar que todos los patrones de demanda producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4. Este hecho difiere de los estudios llevados a cabo por (Georgiadis, Vlachos 2004) en los que un patrón de demanda de mayor duración produce más beneficios. La razón para que esto se produzca reside en el hecho de que en el modelo de (Georgiadis, Vlachos 2004) los precios y costes permanecían constantes durante todo el período de simulación mientras que en el modelo que se ha desarrollado en este trabajo varían según las condiciones indicadas en el apartado 11.2 Datos y parámetros empleados.
- Del análisis de sensibilidad realizado sobre la tasa de descuento anual entre un 3% y un 7% se deduce que los patrones de demanda 1,3 y 2 producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4 produce pérdidas en algunas ocasiones para tasas de descuento bajas próximas al 3%.
- Del análisis de sensibilidad realizado sobre el tiempo de residencia entre 3 y 8 años todos los patrones de demanda producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.
- Del análisis de sensibilidad realizado sobre el Porcentaje de desensamblado sin defectos entre un 75% y un 95% se deduce que también todos los patrones de demanda producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.
- En el modelo propuesto y con los datos manejados se puede concluir que el escenario 4 produce mayores beneficios económicos que los escenarios 1 y 2; es decir, el establecimiento de un sistema de recogida junto con un sistema de



desensamblado y canibalización de componentes reprocesado produce beneficios económicos por sí mismo para todos los patrones de demanda.

- De todos los factores empleados en el análisis de sensibilidad se deduce que el tiempo de residencia bajo produce los mayores beneficios de la simulación.

En el escenario 5 del caso de estudio de las baterías de litio con los datos manejados se observa lo siguiente:

- Con los parámetros de simulación empleados se puede observar que todos los patrones de demanda producen beneficios, si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4. Este hecho difiere de los estudios llevados a cabo por (Georgiadis, Vlachos 2004) en los que un patrón de demanda de mayor duración produce más beneficios. La razón para que esto se produzca reside en el hecho de que en el modelo de (Georgiadis, Vlachos 2004) los precios y costes permanecían constantes durante todo el período de simulación mientras que en el modelo que se ha desarrollado en este trabajo varían según las condiciones indicadas en el apartado 11.2 Datos y parámetros empleados.
- Del análisis de sensibilidad realizado sobre la tasa de descuento anual entre un 3% y un 7% se deduce que todos los patrones de demanda producen beneficios, si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.
- Del análisis de sensibilidad realizado sobre el tiempo de residencia entre 3 y 8 años y de los tiempos de producción, desensamblado, reprocesado e inspección entre 2 y 12 días todos los patrones de demanda producen beneficios, si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.
- Del análisis de sensibilidad realizado sobre el Porcentaje de error entre un 5 y un 25% se deduce que también todos los patrones de demanda producen beneficios, si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.
- Del análisis de sensibilidad realizado sobre el Porcentaje de desensamblado sin defectos entre un 75% y un 95% se deduce que también todos los patrones

de demanda producen beneficios si bien los mayores beneficios se producen para el patrón de demanda 1, seguido del patrón de demanda 3, el patrón de demanda 2 y finalmente del patrón de demanda 4.

- En el modelo propuesto y con los datos manejados se puede concluir que el escenario 5 produce mayores beneficios económicos que los demás escenarios; es decir, el establecimiento de un sistema de recogida junto con un sistema de reprocesado y un sistema de canibalización de componentes produce los beneficios económicos mayores para todos los patrones de demanda.
- De todos los factores empleados en el análisis de sensibilidad se deduce que una mejora tecnológica que produzca a tiempos de producción, desensamblado, reprocesado e inspección bajos produce los mayores beneficios de la simulación.

### 18.3. APORTACIONES Y LIMITACIONES DE LA TESIS.

Esta tesis aporta valor desde diferentes puntos de vista.

Se desarrolla un nuevo modelo de Dinámica de Sistemas que ayuda a la toma de decisiones en una red de logística inversa y que sirve como laboratorio virtual para estudiar tendencias y para ensayar diferentes estrategias reforzando así el proceso del aprendizaje sobre la Gestión de la cadena de suministro.

Se demuestra la utilidad de la Dinámica de Sistemas para manejar problemas complejos como los implicados en la Gestión de la Cadena de Suministro Inversa para los que no existen soluciones universales.

Se ha partido del modelo que desarrollaron Vlachos y Georgiadis (2004) y se citan a continuación las opciones incluidas en el modelo indicando aquellas que son novedad con respecto al modelo de partida:

- Reprocesado de productos
- Canibalización de componentes <sup>APORTACIÓN</sup>
- Venta en mercados secundarios de productos usados <sup>APORTACIÓN</sup>
- Venta en mercados secundarios de componentes desensamblados <sup>APORTACIÓN</sup>
- Desechado controlado de productos
- Desechado controlado de componentes desensamblados <sup>APORTACIÓN</sup>

- Se puede elegir cualquier combinación de las posibilidades descritas y aplicarlas a un producto determinado <sup>APORTACIÓN</sup>
- Se incorporan en el modelo las posibilidades de disponer de una línea de crédito para necesidades de tesorería y de disponer de préstamos bancarios para financiar las inversiones necesarias para establecer un sistema de recogida de productos usados y construir una planta de Clasificación, Reprocesado y Desensamblado de productos <sup>APORTACIÓN</sup>

Se ha realizado también una revisión bibliográfica exhaustiva analizando los paradigmas de la Dirección de Operaciones, Gestión de la Cadena de suministro y Logística inversa.

En cualquier caso aunque un modelo de Dinámica de Sistemas y un análisis adecuado pueden mostrar futuros comportamientos de los sistemas ante varios escenarios conviene tener en cuenta la limitación de que todo modelo es reduccionista por definición. Se trata de una representación de una parte de la realidad, no de la realidad en sí misma. Durante el propio proceso de modelado es necesario renunciar a representar algunos de los elementos y algunas de las relaciones lo que supone una pérdida de fidelidad sobre la realidad a representar. Seleccionando bien los elementos relevantes y formalizando sus interrelaciones correctamente el modelo será útil para los decisores.

#### **18.4. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.**

Como sucede con la mayor parte de los modelos a medida que se va profundizando en su estudio es inevitable que aparezcan nuevas ideas y propuestas para mejorarlo, en este trabajo se han implementado los objetivos generales propuestos, pero como es natural al tener finalizado el estudio y revisar los resultados de la simulación aparecen otras nuevas ideas que por cuestiones de tiempo no ha sido posible implementar en esta tesis doctoral y que se han aplazado para futuras investigaciones.

Entre las posibles mejoras al modelo cabe destacar las siguientes:

- Introducir el efecto de pérdida de pedidos producida por retrasos en el servicio del producto y que puede representarse vía introducción de un

mercado genérico que absorba un porcentaje de los pedidos no satisfechos o introduciendo un pequeño grupo de empresas y simular cómo influyen las decisiones estratégicas desde un punto de vista competitivo.

- Trabajar con más de una línea de producto.
- Introducir un producto que esté compuesto de más de un componente y que se represente con sus propios circuitos cada uno de los componentes en lugar de trabajar con unidades genéricas que representen la fase inicial de aprovisionamiento y sus correspondientes líneas de canibalización y aprovechamiento en mercados secundarios.
- Generar dos nuevas líneas en la cadena inversa para simular las opciones de reciclado y recuperación energética.
- Introducir el efecto que tiene sobre la demanda la “imagen verde” que muestra la empresa que previsiblemente variará incrementándose ligeramente cuando sea respetuosa con el medioambiente y disminuyendo cuando la imagen transmitida sea la opuesta.
- Disponer varios modelos en régimen competitivo para estudiar los resultados de la implantación de distintas estrategias por parte de cada competidor.

Todas estas mejoras serán implementadas en futuras investigaciones.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS Y FUENTES

- Abraham, N. 2011; 10, "The apparel aftermarket in India - a case study focusing on reverse logistics", *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, vol. 15, no. 2, pp. 211-227.
- Ahn, H. 2009, "On the profit gains of competing reverse channels for remanufacturing of refillable containers", *Journal of Service Science*, vol. 1, no. 2, pp. 147-189.
- Aitken, J. & Harrison, A. 2013; 17, "Supply governance structures for reverse logistics systems", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 33, no. 6, pp. 745-764.
- Alshamrani, A. 2012; 1, "Adaptive Control of a Reverse Logistic Inventory Model with Uncertain Deteriorations and Disposal Rates", *Advances in Operations Research*, vol. 2012.
- Álvarez Gil, M.J. 1996, "La dirección de operaciones: ¿qué es?, ¿de dónde viene?, ¿a dónde va?", *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, vol. 5, no. 3, pp. 145-162.
- Amoako-Gyampah, K. & Meredith, J.R. 1989, "The Operations Management Research Agenda: An Update", *Journal of Operations Management*, vol. 8, no. 3, pp. 250.
- Antai, I. & Mutshinda, C.M. 2010; 22, "Health status assessment using reverse supply chain data", *Management Research Review*, vol. 33, no. 2, pp. 111-122.
- Aracil, J. & Bueno, J.M. 1976, "Dinámica de sistemas y planificación urbana. Partes I y II.", *Revista DYNA*, vol. Julio-Agosto y Septiembre.
- Aracill, J. & Gordillo, F. 1997, *Dinámica de sistemas*. Alianza Editorial.
- Ashayeri, J., Heuts, R., Jansen, A. & Szczerba, B. 1996, "Inventory management of repairable service parts for personal computers A case study", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 16, no. 12, pp. 74.
- Asif, R. 2011; 1, "Reverse Logistics: RFID the key to optimality", *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 4, no. 2, pp. 281-300.
- Bajdor, P. & Grabara, J.K. 2011, "Implementing "Green" Elements into the Supply Chain - the Literature Review and Examples", *Annales Universitatis Apulensis Series Oeconomica*, vol. 2, no. 13.
- Barman, S., Hanna, M.D. & LaForge, R.L. 2001, "Perceived relevance and quality of POM journals: a decade later", *Journal of Operations Management*, vol. 19, no. 3, pp. 367-385.
- Barros, A.I., Dekker, R. & Scholten, V. 1998, "A two-level network for recycling sand: A case study", *European Journal of Operational Research*, vol. 110, no. 2, pp. 199.

- Baumann, H., Boons, F. & Bragd, A. 2002, "Mapping the green product development field: engineering, policy and business perspectives", *Journal of Cleaner Production*, vol. 10, no. 5, pp. 409-425.
- Bayraktar, E., Jothishankar, M.C., Tatoglu, E. & Wu, T. 2007, "Evolution of operations management: past, present and future", *Management Research News*, vol. 30, no. 11, pp. 843.
- Bell, J.E., Mollenkopf, D.A. & Stolze, H.J. 2013; 7, "Natural resource scarcity and the closed-loop supply chain: a resource-advantage view", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 43, no. 5/6, pp. 351-379.
- Benedito, E. & Corominas, A. 2011; 1, "Assessing the impact on optimal production capacities in a closed-loop logistics system of the assumption that returns are stochastically independent of sales", *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 4, no. 3, pp. 504-522.
- Bernon, M., Rossi, S. & Cullen, J. 2011; 14, "Retail reverse logistics: a call and grounding framework for research", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 41, no. 5, pp. 484-510.
- Blanco Martínez, A. 1982, *Dirigir con inflación*, Ediciones Deusto S.A., Bilbao, España.
- Bloemhof-Ruwaard, J.M., Van Wassenhove, L.N., Gabel, H.L. & Weaver, P.M. 1996, "An environmental life cycle optimization model for the European pulp and paper industry", *Omega*, vol. 24, no. 6, pp. 615.
- Bloemhof-Ruwaard, J.M., Salomon, M. & Van Wassenhove, L.N. 1996, "The capacitated distribution and waste disposal problem", *European Journal of Operational Research*, vol. 88, no. 3, pp. 490.
- Brodin, M.H. & Anderson, H. 2008, "Recycling calls for revaluation", *Supply Chain Management*, vol. 13, no. 1, pp. 9.
- Buffa, E.S. 1980, "Research in Operations Management", *Journal of Operations Management*, vol. 1, no. 1, pp. 1.
- Carter, C.R. & Ellram, L.M. 1998, "Reverse logistics: A review of the literature and framework for future investigation", *Journal of Business Logistics*, vol. 19, no. 1, pp. 85.
- Carter, C.R., Kale, R. & Grimm, C.M. 2000, "Environmental purchasing and firm performance: an empirical investigation", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 36, no. 3, pp. 219-228.
- Caruso, C., Colorni, A. & Paruccini, M. 1993, "The regional urban solid waste management system: A modelling approach", *European Journal of Operational Research*, vol. 70, no. 1, pp. 16.
- Castresana, J.I. & Blanco Martínez, A. 2001, *Liderazgo Sistémico de la Organización*, Unión Iberoamericana de Municipalistas, Granada, España.

- Castresana, J.I. & Blanco Martínez, A. 1992, *Dirección Inteligente, Dirección Flexible*, ESIC Editorial, Madrid, España.
- Chase, R.B. & Prentis, E.L. 1987, "Operations Management: A Field Rediscovered", *Journal of Management*, vol. 13, no. 2, pp. 351.
- Chen, J.-. & Chang, C.-. 2012a, "The economics of a closed-loop supply chain with remanufacturing", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 63, no. 10, pp. 1323-1335.
- Chen, J. & Chang, C. 2012b, "The economics of hybrid manufacturing systems in a closed-loop supply chain", *Netnomics*, vol. 13, no. 2, pp. 79-91.
- Chinander, K.R. 2001, "Aligning accountability and awareness for environmental performance in operations", *Production and Operations Management*, vol. 10, no. 3, pp. 276.
- Choi, T.Y. & Wacker, J.G. 2011, "Theory Building in the Om/scm Field: Pointing to the Future by Looking at the Past", *Journal of Supply Chain Management*, vol. 47, no. 2, pp. 8-11.
- Chopra, S., Lovejoy, W. & Yano, C. 2004, "Five Decades of Operations Management and the Prospects Ahead", *Management Science*, vol. 50, no. 1, pp. 8.
- Craighead, C.W. & Meredith, J. 2008, "Operations management research: evolution and alternative future paths", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 28, no. 8, pp. 710.
- Crainic, T.G., Gendreau, M. & Dejax, P. 1993, "Dynamic and stochastic models for the allocation of empty co", *Operations research*, vol. 41, no. 1, pp. 102.
- Daniel, V. & Guide, R., Jr 1997, "Scheduling with priority dispatching rules and drum-buffer-rope in a recoverable manufacturing system", *International Journal of Production Economics*, vol. 53, no. 1, pp. 101.
- Daugherty, P.J., Richey, R.G., Hudgens, B.J. & Autry, C.W. 2003, "Reverse logistics in the automobile aftermarket industry", *International Journal of Logistics Management*, vol. 14, no. 1, pp. 49.
- De Giovanni, P. 2014, "Environmental collaboration in a closed-loop supply chain with a reverse revenue sharing contract", *Annals of Operations Research*, vol. 220, no. 1, pp. 135-157.
- Demajorovic, J., Zuñiga, M.K.H., Boueres, J.A., Silva, A.G.d. & Sotano, A.S. 2012; 1, "Logística Reversa: Como las empresas comunican o descarte de baterías e celulares?", *RAE : Revista de Administración de Empresas*, vol. 52, no. 2, pp. 165-178.
- Díaz, A., Álvarez, M.J. & González, P. 2004, *Logística Inversa y Medio Ambiente. Aspectos estratégicos y operativos*. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA S.A.U., Madrid, España.



- Ding, L. & Glazebrook, K. 2013, "Dynamic routing in distinguishable parallel queues: an application of product returns for remanufacturing", *OR Spectrum*, vol. 35, no. 3, pp. 585-608.
- Erol, s., Nurtani Velio lu, M., Sivrikaya erifo lu, F., BÃ¼yÃ¼kÃ¶zkan, G., Aras, N., Demircan Ã‡akar, N. & Korugan, A. 2010; 26, "Exploring reverse supply chain management practices in Turkey", *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 15, no. 1, pp. 43-54.
- Ferrer, G. 2001, "On the widget remanufacturing operation", *European Journal of Operational Research*, vol. 135, no. 2, pp. 373.
- Ferrer, G. & Whybark, D.C. 2001, "Material planning for a remanufacturing facility", *Production and Operations Management*, vol. 10, no. 2, pp. 112.
- Filippini, R. 1997, "Operations management research: some reflections on evolution, models and empirical studies in OM", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 17, no. 7, pp. 655.
- Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J.M. & Van Wassenhove, L.N. 2001, "The impact of product recovery on logistics network design", *Production and Operations Management*, vol. 10, no. 2, pp. 156.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Dekker, R. & van der Laan, E. 1997, "Quantitative models for reverse logistics: A review", *European Journal of Operational Research*, vol. 103, no. 1, pp. 1.
- Fleischmann, M., Kuik, R. & Dekker, R. 2002, "Controlling inventories with stochastic item returns: A basic model", *European Journal of Operational Research*, vol. 138, no. 1, pp. 63.
- Fleischmann, M., Krikke, H.R., Dekker, R. & Flapper, S.D.P. 2000, "A characterisation of logistics networks for product recovery", *Omega*, vol. 28, no. 6, pp. 653.
- Forrester, J.W. 1971, *World dynamics*. Wright-Allen Press.
- Forrester, J.W. 1968a, *Principles of systems*, Wright-Allen Press.
- Forrester, J.W. 1968b, *Urban dynamics*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Forrester, J.W. 1961a, *Dinámica Industrial*, "El Ateneo".
- Forrester, J.W. 1961b, *Industrial dynamics*, Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Foster, M., Isely, P., Standridge, C.R. & Hasan, M.M. 2014; 1, "Feasibility assessment of remanufacturing, repurposing, and recycling of end of vehicle application lithium-ion batteries", *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 7, no. 3, pp. 698-715.
- Freires, F.G.M. 2013; 1, "Towards an Investigation on the Determinants for Effectiveness and Efficiency of Reverse Logistics Systems (RLs)", *Independent Journal of Management & Production*, vol. 5, no. 1, pp. 45.

- Fuller, J.A. & Mansour, A.H. 2003, "Operations management and operations research: A historical and relational perspective", *Management Decision*, vol. 41, no. 4, pp. 422.
- Georgiadis, P. & Vlachos, D. 2004, "The effect of environmental parameters on product recovery", *European Journal of Operational Research*, vol. 157, no. 2, pp. 449-464.
- Georgiadis, P., Vlachos, D. & Tagaras, G. 2006, "The Impact of Product Lifecycle on Capacity Planning of Closed-Loop Supply Chains with Remanufacturing", *Production and Operations Management*, vol. 15, no. 4, pp. 514.
- Ghadge, A., Dani, S., Chester, M. & Kalawsky, R. 2013; 29, "A systems approach for modelling supply chain risks", *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 18, no. 5, pp. 523-538.
- Giannikos, I. 1998, "A multiobjective programming model for locating treatment sites and routing hazardous wastes", *European Journal of Operational Research*, vol. 104, no. 2, pp. 333.
- Gobbi, C. 2011; 6, "Designing the reverse supply chain: the impact of the product residual value", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 41, no. 8, pp. 768-796.
- Guide, V.D.R., Jr & Srivastava, R. 1997, "Buffering from material recovery uncertainty in a recoverable manufacturing environment", *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 48, no. 5, pp. 519.
- Guide, V.D.R., Jr, Souza, G.C. & van der Laan, E. 2005, "Performance of static priority rules for shared facilities in a remanufacturing shop with disassembly and reassembly", *European Journal of Operational Research*, vol. 164, no. 2, pp. 341.
- Guide, V.D.R., Jr & Srivastava, R. 1998, "Inventory buffers in recoverable manufacturing", *Journal of Operations Management*, vol. 16, no. 5, pp. 551.
- Guide, V.D.R., Jr & Srivastava, R. 1997a, "An evaluation of order release strategies in a remanufacturing environment", *Computers & Operations Research*, vol. 24, no. 1, pp. 37.
- Guide, V.D.R., Jr & Srivastava, R. 1997b, "Repairable inventory theory: Models and applications", *European Journal of Operational Research*, vol. 102, no. 1, pp. 1.
- Guide, V.D.R., Jr, Srivastava, R. & Spencer, M.S. 1996, "Are production systems ready for the green revolution?", *Production and Inventory Management Journal*, vol. 37, no. 4, pp. 70.
- Guide, V.D., Jr, Kraus, M.E. & Srivastava, R. 1997, "Scheduling policies for remanufacturing", *International Journal of Production Economics*, vol. 48, no. 2, pp. 187.
- Guide, V.D.R. & Van Wassenhove, L.N. 2009; 1, "The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research", *Operations research*, vol. 57, no. 1, pp. 10-18.

- Gupta, A. 1993, "Approximate solution of a single-base multi-indentured repairable-item inventory system", *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 44, no. 7, pp. 701.
- Gupta, S., Verma, R. & Victorino, L. 2006, "Empirical Research Published in Production and Operations Management (1992-2005): Trends and Future Research Directions", *Production and Operations Management*, vol. 15, no. 3, pp. 432.
- Gupta, V., Abidi, Naseem 2013, "Green supply chain management initiatives by IT companies in India", *The IUP journal of operations management*, vol. 12, no. 2, pp. 6-24.
- Gupta, V., Abidi, N. & Bandyopadhyay, A. 2013, "Supply chain management; Supply Chain Management - A Three Dimensional Framework", *Journal of management research*, vol. 5, no. 4, pp. 76-97.
- Gurnani, H., Sharma, A. & Grewal, D. 2010, "Optimal Returns Policy under Demand Uncertainty", *Journal of Retailing*, vol. 86, no. 2, pp. 137-147.
- Guzman-Siller, C.F. 2009; 1, "Perception of value of grocery pallet systems: The retailer's point of view", .
- Haas, D.A. & Murphy, F.H. 2003, "Compensating for non-homogeneity in decision-making units in data envelopment analysis", *European Journal of Operational Research*, vol. 144, no. 3, pp. 530.
- Haastrup, P., Maniezzo, V., Mattarelli, M. & Rinaldi, F.M. 1998, "A decision support system for urban waste management", *European Journal of Operational Research*, vol. 109, no. 2, pp. 330.
- Haji, A., Binti. Rosnah 2012, "Greening your reverse logistics", *Industrial Engineer*, vol. 44, no. 12, pp. 35.
- Hamzaoui Essoussi, L. & Linton, J.D. 2010; 3, "New or recycled products: how much are consumers willing to pay?", *Journal of Consumer Marketing*, vol. 27, no. 5, pp. 458-468.
- Hanafi, J., Kara, S. & Kaebernick, H. 2008, "Reverse logistics strategies for end-of-life products", *International Journal of Logistics Management*, vol. 19, no. 3, pp. 367.
- Hazen, B.T., Hall, D.J. & Hanna, J.B. 2012; 13, "Reverse logistics disposition decision-making", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 42, no. 3, pp. 244-274.
- Hernández, J.E. 2011, "The Reverse Logistic Process of an Automobile Supply Chain Network Supported by a Collaborative Decision-Making Model", *Group Decision and Negotiation*, vol. 20, no. 1, pp. 79-114.
- Hicks, C., Heidrich, O., McGovern, T. & Donnelly, T. 2004, "A functional model of supply chains and waste", *International Journal of Production Economics*, vol. 89, no. 2, pp. 165-174.

- Hirsch, B.E., Kuhlmann, T. & Schumacher, J. 1998, "Logistics simulation of recycling networks", *Computers in Industry*, vol. 36, no. 1,2, pp. 31.
- Hosseinzadeh, M. 2012; 1, "An Optimization Model for Reverse Logistics Network under Stochastic Environment Using Genetic Algorithm", *International Journal of Business and Social Science*, vol. 3, no. 12.
- Huscroft, J.R., Jr 2010; 1, "The Reverse Logistics Process in the Supply Chain and Managing Its Implementation", .
- Inderfurth, K., de Kok, A.G. & Flapper, S.D.P. 2001, "Product recovery in stochastic remanufacturing systems with multiple reuse options", *European Journal of Operational Research*, vol. 133, no. 1, pp. 130.
- Inderfurth, K. & van der Laan, E. 2001, "Leadtime effects and policy improvement for stochastic inventory control with remanufacturing", *International Journal of Production Economics*, vol. 71, no. 1-3, pp. 381.
- Ip, W.H., Chan, S.L. & Lam, C.Y. 2011; 10, "Modeling supply chain performance and stability", *Industrial Management & Data Systems*, vol. 111, no. 8, pp. 1332-1354.
- J. Hall, D., R. Huscroft, J., T. Hazen, B. & B. Hanna, J. 2013; 4, "Reverse logistics goals, metrics, and challenges: perspectives from industry", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 43, no. 9, pp. 768-785.
- Jack, E.P., Powers, T.L. & Skinner, L. 2010; 20, "Reverse logistics capabilities: antecedents and cost savings", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 40, no. 3, pp. 228-246.
- Jayaraman, V., Guide, V.D.R. & Srivastava, R. 1999, "A closed-loop logistics model for remanufacturing", *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 50, no. 5, pp. 497.
- Jayaraman, V., Patterson, R.A. & Rolland, E. 2003, "The design of reverse distribution networks: Models and solution procedures", *European Journal of Operational Research*, vol. 150, no. 1, pp. 128.
- Jayaraman, V. & Srivastava, R. 1995, "A service logistics model for simultaneous siting of facilities and multiple levels of equipment", *Computers & Operations Research*, vol. 22, no. 2, pp. 191.
- Jayaraman, V., Srivastava, R. & Benton, W.C. 1998, "A joint optimization of product variety and ordering approach", *Computers & Operations Research*, vol. 25, no. 7,8, pp. 557.
- John, J., Kumar, S., Singh, K.N. & Srivastava, R.K. 2013; 1, "Sustainable Operations in Reverse Supply Chain of Shipbuilding Business: Benefits of Green Practices", *Independent Journal of Management & Production*, vol. 4, no. 2, pp. 563.
- Kainuma, Y. & Tawara, N. 2006, "A multiple attribute utility theory approach to lean and green supply chain management", *International Journal of Production Economics*, vol. 101, no. 1, pp. 99-108.

- Kapetanopoulou, P. & Tagaras, G. 2011; 8, "Drivers and obstacles of product recovery activities in the Greek industry", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 31, no. 2, pp. 148-166.
- Kapetanopoulou, P. & Tagaras, G. 2009, "An empirical investigation of value-added product recovery activities in SMEs using multiple case studies of OEMs and independent remanufacturers", *Flexible Services and Manufacturing Journal*, vol. 21, no. 3, pp. 92-113.
- Kara, S., Rugrungruang, F. & Kaebernick, H. 2007, "Simulation modelling of reverse logistics networks", *International Journal of Production Economics*, vol. 106, no. 1, pp. 61-69.
- Kelle, P. & Silver, E.A. 1989, "Forecasting the Returns of Reusable Containers", *Journal of Operations Management*, vol. 8, no. 1, pp. 17.
- Kiesmuller, G.P. & Scherer, C.W. 2003, "Computational issues in a stochastic finite horizon one product recovery inventory model", *European Journal of Operational Research*, vol. 146, no. 3, pp. 553.
- Kiesmuller, G.P. & van der Laan, E.A. 2001, "An inventory model with dependent product demands and returns", *International Journal of Production Economics*, vol. 72, no. 1, pp. 73.
- Klassen, R.D. 2001, "Plant-level environmental management orientation: The influence of management views and plant characteristics", *Production and Operations Management*, vol. 10, no. 3, pp. 257.
- Klausner, M. & Hendrickson, C.T. 2000, "Reverse-logistics strategy for product take-back", *Interfaces*, vol. 30, no. 3, pp. 156.
- Kocabasoglu, C., Prahinski, C. & Klassen, R.D. 2007, "Linking forward and reverse supply chain investments: The role of business uncertainty", *Journal of Operations Management*, vol. 25, no. 6, pp. 1141-1160.
- Krapp, M., Nebel, J. & Sahamie, R. 2013; 30, "Forecasting product returns in closed-loop supply chains", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 43, no. 8, pp. 614-637.
- Kroon, L. & Vrijens, G. 1995, "Returnable containers: An example of reverse logistics", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 25, no. 2, pp. 56.
- Kumar, R. 2012, *An Operational Framework; For Reverse Supply Chains*.
- Kumar, S., Dieveney, E. & Dieveney, A. 2009; 16, "Reverse logistic process control measures for the pharmaceutical industry supply chain", *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 58, no. 2, pp. 188-204.
- Kwateng, K.O., Debrah, B., Parker, D.V., Owusu, R.N. & Prempeh, H. 2014; 1, "Reverse Logistics Practices in Pharmaceutical Manufacturing Industry:

- Experiences from Ghana", *Global Journal of Business Research*, vol. 8, no. 5, pp. 17.
- Laosirihongthong, T., Adebajo, D. & Choon Tan, K. 2013; 23, "Green supply chain management practices and performance", *Industrial Management & Data Systems*, vol. 113, no. 8, pp. 1088-1109.
- Lee, Y.J. 2009; 1, "Integrated forward-reverse logistics system design: An empirical investigation", .
- Li, X. & Olorunniwo, F. 2008, "An exploration of reverse logistics practices in three companies", *Supply Chain Management*, vol. 13, no. 5, pp. 381.
- Lin, F.S.C. 2012, "Systems Dynamics Modelling for Collaboration and Information Sharing on Supply Chain Performance and Value Creation", *Journal of International Technology and Information Management*, vol. 21, no. 4, pp. 67.
- Lindskog, M. 2012, "Systems theory: myth or mainstream?", *Logist. Res.*, vol. 4, pp. 63.
- Linton, J.D. & Johnston, D.A. 2000, "A decision support system for planning remanufacturing at Nortel Networks", *Interfaces*, vol. 30, no. 6, pp. 17.
- Linton, J.D., Klassen, R. & Jayaraman, V. 2007, "Sustainable supply chains: An introduction", *Journal of Operations Management*, vol. 25, no. 6, pp. 1075-1082.
- Listes, O. & Dekker, R. 2005, "A stochastic approach to a case study for product recovery network design", *European Journal of Operational Research*, vol. 160, no. 1, pp. 268.
- Liu, J.W., Haiyan 2013, "The equilibrium results analysis in a competing supply chains with consumer returns", *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 0953, pp. 149.
- Lozada Rodríguez, M.Á. 2014; 1, "Gestión eficiente de residuos sólidos urbanos: Una estrategia de mitigación para el cambio climático.", *Global Conference on Business & Finance Proceedings*, vol. 9, no. 2, pp. 880.
- Madaan, J. & Wadhwa, S. 2010; 1, "Decision and Information Synergy for Improving Product Recovery Performance", *Global Journal of Flexible Systems Management*, vol. 11, no. 1/2, pp. 89.
- Majumder, P. & Groenevelt, H. 2001, "Competition in remanufacturing", *Production and Operations Management*, vol. 10, no. 2, pp. 125.
- Malhotra, M.K., Steele, D.C. & Grover, V. 1994, "Important strategic and tactical manufacturing issues in the 1990s", *Decision Sciences*, vol. 25, no. 2, pp. 189.
- Mann, H., Kumar, U., Kumar, V. & Mann, I.J.S. 2010; 1, "Drivers of Sustainable Supply Chain Management", *IUP Journal of Operations Management*, vol. 9, no. 4, pp. 52.

- Marin, A. & Pelegrin, B. 1998, "The return plant location problem: Modelling and resolution", *European Journal of Operational Research*, vol. 104, no. 2, pp. 375.
- Mar-Ortiz, J., Adenso-Díaz, B. & González-Velarde, J. 2011; 1, "Design of a recovery network for WEEE collection: the case of Galicia, Spain", *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 62, no. 8, pp. 1471-1484.
- Martín García, J. 2008, *Ejercicios Avanzados en Dinámica de Sistemas*, Tercera edición ampliada 2014 edn, , Barcelona, España.
- Martín García, J. 2003, *Teoría y Ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas*, .
- Masui, T. 2005, "Policy evaluations under environmental constraints using a computable general equilibrium model", *European Journal of Operational Research*, vol. 166, no. 3, pp. 843.
- Matos, S. & Hall, J. 2007, "Integrating sustainable development in the supply chain: The case of life cycle assessment in oil and gas and agricultural biotechnology", *Journal of Operations Management*, vol. 25, no. 6, pp. 1083-1102.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. & Behrens, W. 1972, *Los límites del crecimiento*. Fondo de Cultura Económica. México.
- Meadows, D.H.e.a. 1992, *Mas allá de los límites del crecimiento*. Ediciones el País, S.A./ Aguilar S.A. de Ediciones.
- Miettinen, P. & Hamalainen, R.P. 1997, "How to benefit from decision analysis in environmental life cycle assessment (LCA)", *European Journal of Operational Research*, vol. 102, no. 2, pp. 279.
- Miñi-Ramírez, A., Arias-Aranda, D. & García-Morales, V.J. 2012; 1, "La gestión de la logística inversa en las empresas españolas: Hacia las prácticas de la excelencia.", *Universia Business Review*, , no. 33, pp. 70.
- Min, H., Jayaraman, V. & Srivastava, R. 1998, "Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions", *European Journal of Operational Research*, vol. 108, no. 1, pp. 1.
- min, H., Ko, H.J. & Ko, C.S. 2006, "A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns", *Omega*, vol. 34, no. 1, pp. 56.
- Minner, S. 2001, "Strategic safety stocks in reverse logistics supply chains", *International Journal of Production Economics*, vol. 71, no. 1-3, pp. 417.
- Miranda González, F.J., Rubio Lacoba, S., Chamorro Mera, A. & Bañegil Palacios, T.M. 2005, *Manual de Dirección de Operaciones*, Thomson Editores Spain. Paraninfo S.A.
- Moore, K.E., Gungor, A. & Gupta, S.M. 2001, "Petri net approach to disassembly process planning for products with complex AND/OR precedence relationships", *European Journal of Operational Research*, vol. 135, no. 2, pp. 428.

- Moore, K.E., Gungor, A. & Gupta, S.M. 1998, "A Petri net approach to disassembly process planning", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 35, no. 1,2, pp. 165.
- Mostard, J. & Teunter, R. 2006, "The newsboy problem with resalable returns: A single period model and case study", *European Journal of Operational Research*, vol. 169, no. 1, pp. 81.
- Mourao, M.C. & Amado, L. 2005, "Heuristic method for a mixed capacitated arc routing problem: A refuse collection application", *European Journal of Operational Research*, vol. 160, no. 1, pp. 139.
- Mukhopadhyay, S.K. & Setoputro, R. 2005, "Optimal return policy and modular design for build-to-order products", *Journal of Operations Management*, vol. 23, no. 5, pp. 496.
- Murphy, P.R. & Poist, R.F. 2003, "Green perspectives and practices: A "comparative logistics" study", *Supply Chain Management*, vol. 8, no. 2, pp. 122.
- Nagurney, A. & Toyasaki, F. 2005, "Reverse supply chain management and electronic waste recycling: a multitiered network equilibrium framework for e-cycling", *Transportation Research. Part E, Logistics & Transportation Review*, vol. 41E, no. 1, pp. 1.
- Nakashima, K. & Loomba, A.P.S. 2013; 2, "Parts quality-based priority policy in remanufacturing environments", *Journal of Advances in Management Research*, vol. 10, no. 2, pp. 162-175.
- Nnorom, I.C. & Osibanjo, O. 2010; 1, "Overview of Prospects in Adopting Remanufacturing of End-of-Life Electronic Products in the Developing Countries", *International Journal of Innovation, Management and Technology*, vol. 1, no. 3, pp. 328.
- Norhana Muslan, Abu Bakar Abd Hamid, Helen Tan and Halimah Idris 2013, "Practices of Green Supply Chain Management (GSCM) towards Manufacturing Sustainability", *DOI*, vol. 66, no. 14, pp. 74.
- Oko, A.E.N. & Nkamnebe, A.D. 2013; 15, "Reverse Logistics Management and Environmental Sustainability Drive in Nigeria (Study of the Food and Drink Industries)", *International Journal of Business and Management*, vol. 8, no. 16, pp. 54.
- Ordoobadi, S.M. 2009; 7, "Outsourcing reverse logistics and remanufacturing functions: a conceptual strategic model", *Management Research News*, vol. 32, no. 9, pp. 831-845.
- Ovchinnikov, A. 2011, "Revenue and Cost Management for Remanufactured Products", *Production and Operations Management*, vol. 20, no. 6, pp. 824.
- Paksoy, T., Ązceylan, E. & Weber, G. 2011; 1, "A Multi Objective Model for Optimization of a Green Supply Chain Network", *Global Journal of Technology and Optimization*, vol. 2, pp. 84.



- Panagiotidou, S., Nenes, G. & Zikopoulos, C. 2013, "Optimal procurement and sampling decisions under stochastic yield of returns in reverse supply chains", *OR Spectrum*, vol. 35, no. 1, pp. 1-32.
- Pérez Ríos, J. 1992, *Dirección Estratégica y Pensamiento Sistémico*, .
- Pérez, A. & Rodríguez, Miguel Ángel, Sabriá, Federico 2003, *Logística Inversa*, , Barcelona, España.
- Pohlen, T.L. & Farris, M.T.,II 1992, "Reverse logistics in plastics recycling", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 22, no. 7, pp. 35.
- Prahinski, C. & Kocabasoglu, C. 2006, "Empirical research opportunities in reverse supply chains", *Omega*, vol. 34, no. 6, pp. 519-532.
- Qiaolun, G. 2009; 1, "Pricing management for a closed-loop supply chain", *International Abstracts in Operations Research*, vol. 60, no. 2.
- Quak, H.J. & de Koster, M.B.M. 2007, "Exploring retailers' sensitivity to local sustainability policies", *Journal of Operations Management*, vol. 25, no. 6, pp. 1103-1122.
- Quintana, M.P.G.A., Benitez, E.O., Gonzalez, S.A.P., Castillo, Ana Lucía Muñoz Gámez del & Vega, R.M. 2013; 1, "An application of routing models for PET pickup for recycling", *IIE Annual Conference.Proceedings*, , pp. 1.
- R. Huscroft, J., T. Hazen, B., J. Hall, D., B. Skipper, J. & B. Hanna, J. 2013; 1, "Reverse logistics: past research, current management issues, and future directions", *The International Journal of Logistics Management*, vol. 24, no. 3, pp. 304-327.
- Rao, P. 2002, "Greening the supply chain: A new initiative in South East Asia", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 22, no. 5/6, pp. 632.
- Rao, P. & Holt, D. 2005, "Do green supply chains lead to competitiveness and economic performance?", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 25, no. 9/10, pp. 898.
- Richter, K. 1996, "The extended EOQ repair and waste disposal model", *International Journal of Production Economics*, vol. 45, no. 1-3, pp. 443.
- Richter, K. & Dobos, I. 1999, "Analysis of the EOQ repair and waste disposal problem with integer setup numbers", *International Journal of Production Economics*, vol. 59, no. 1-3, pp. 463.
- Richter, K. & Sombrutzki, M. 2000, "Remanufacturing planning for the reverse Wagner/Whitin models", *European Journal of Operational Research*, vol. 121, no. 2, pp. 304.

- Richter, K. & Weber, J. 2001, "The reverse Wagner/Whitin model with variable manufacturing and remanufacturing costs", *International Journal of Production Economics*, vol. 71, no. 1-3, pp. 447.
- Ritchie, L., Burnes, B., Whittle, P. & Hey, R. 2000, "The benefits of reverse logistics: the case of the Manchester Royal Infirmary Pharmacy", *Supply Chain Management*, vol. 5, no. 5, pp. 226.
- Rodriguez-Fernandez, R. & Blanco Rojo, B. 2011, "Reverse Supply Chain Management - Modeling Through System Dynamics.", *Supply Chain Management. New Perspectives.*, , pp. 417-442.
- Rogers, D. & Tibben-Lembke, R.S. 1999, *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*. Pittsburgh: RLEC Press.
- Rose, C.M., Stevels, A. & Ishii, K. 2000, "A new approach to end-of-life design advisor (ELDA)", *Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment (Cat.No.00CH37082)*, , pp. 99-104.
- Sarkis, J. 2003, "A strategic decision framework for green supply chain management", *Journal of Cleaner Production*, vol. 11, no. 4, pp. 397-409.
- Sarkis, J. 1998, "Evaluating environmentally conscious business practices", *European Journal of Operational Research*, vol. 107, no. 1, pp. 159-174.
- Sarmiento, A.T., Rabelo, L. & Jones, A. 2011; 1, "A Review of Asymptotic Stability and Eigenvalue Analysis in System Dynamics", *IIE Annual Conference.Proceedings*, , pp. 1.
- Savaskan, R.C., Bhattacharya, S. & Van Wassenhove, L.N. 2004, "Closed-Loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing", *Management Science*, vol. 50, no. 2, pp. 239.
- Sbihi, A. & Eglese, R. 2007, "Combinatorial optimization and Green Logistics", *4OR*, vol. 5, no. 2, pp. 99-116.
- Senge, P. 1990, *La quinta disciplina. El arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje*, Gránica. 1992, Barcelona.
- Seuring, S. & Müller, M. 2008, "From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management", *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, no. 15, pp. 1699-1710.
- Sharma, M.M. 2013; 1, "A Study on the Concept of Green Supply Chain Management", *Journal of Supply Chain Management Systems*, vol. 2, no. 1, pp. 1.
- Sheu, J., Chou, Y. & Hu, C. 2005, "An integrated logistics operational model for green-supply chain management", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 41, no. 4, pp. 287-313.

- Shi, X., Li, L., Yang, L., Li, Z. & Choi, J. 2012, "Information flow in reverse logistics: an industrial information integration study", *Information Technology and Management*, vol. 13, no. 4, pp. 217-232.
- Skapa, R. & KlapalovĀj, A. 2010; 26, "The Tendencies of Reverse Logistics in Czech Companies: an Empirical Survey", *An Enterprise Odyssey. International Conference Proceedings*, , pp. 1382.
- Sonya Hsu, H., Alexander, C.A. & Zhu, Z. 2009; 24, "Understanding the reverse logistics operations of a retailer: a pilot study", *Industrial Management & Data Systems*, vol. 109, no. 4, pp. 515-531.
- Sophie Bernard 2010, "Three Essays on Environmental Economics: Remanufacturing, Movements of Waste, and Democracy", *Tesis doctoral*, .
- Souza, G.C. 2008, "Remanufacturing in Closed-Loop Supply Chains", *Production and Inventory Management Journal*, vol. 45, no. 1, pp. 56.
- Spengler, T., Puchert, H., Penkuhn, T. & Rentz, O. 1997, "Environmental integrated production and recycling management", *European Journal of Operational Research*, vol. 97, no. 2, pp. 308.
- Srivastava, S.K. 2007, "Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review", *International Journal of Management Reviews*, vol. 9, no. 1, pp. 53-80.
- Srivastava, S.K. 2008; 16, "Value recovery network design for product returns", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 38, no. 4, pp. 311-331.
- Srivastava, S.K. 2008, "Network design for reverse logistics", *Omega*, vol. 36, no. 4, pp. 535-548.
- Srivastava, S.K. & Srivastava, R.K. 2006a, "Managing product returns for reverse logistics", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 36, no. 7, pp. 524.
- Srivastava, S.K. & Srivastava, R.K. 2006b, "Managing product returns for reverse logistics", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 36, no. 7, pp. 524.
- Sterman, J.D. 1989, "Modeling Managerial Behavior: Misperceptions Of Feedback In", *Management Science*, vol. 35, no. 3, pp. 321.
- Swenseth, S.R. & Godfrey, M.R. 2002, "Incorporating transportation costs into inventory replenishment decisions", *International Journal of Production Economics*, vol. 77, no. 2, pp. 113.
- Teunter, R.H., van der Laan, E. & Inderfurth, K. 2000, "How to set the holding cost rates in average cost inventory models with reverse logistics?", *Omega*, vol. 28, no. 4, pp. 409.

- Teunter, R.H. & Vlachos, D. 2002, "On the necessity of a disposal option for returned items that can be remanufactured", *International Journal of Production Economics*, vol. 75, no. 3, pp. 257.
- Toktay, L. Beril, Wei, Donna 2011, "Cost Allocation in Manufacturing-Remanufacturing Operations", *Production and Operations Management*, vol. 20, no. 6, pp. 841.
- Tonape, S. & Owk, M. 2013; 1, "An Overview, Trends and Future Mapping of Green Supply Chain Management - Perspectives in India", *Journal of Supply Chain Management Systems*, vol. 2, no. 3, pp. 48.
- Turrise, M., Bruccoleri, M. & Cannella, S. 2013; 2, "Impact of reverse logistics on supply chain performance", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 43, no. 7, pp. 564-585.
- V, G., Punjabi, L., Gupta, V., Patil, S. & Kadam, R. 2013; 1, "Returnable Container Collection Process in Reverse Supply Chain Operations: A Case Study of an Indian Distillery Company", *Journal of Supply Chain Management Systems*, vol. 2, no. 2, pp. 1.
- Vachon, S. & Klassen, R.D. 2006, "Extending green practices across the supply chain", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 26, no. 7, pp. 795.
- Vahdani, B., Razmi, J. & Tavakkoli-Moghaddam, R. 2012, "Fuzzy Possibilistic Modeling for Closed Loop Recycling Collection Networks", *Environmental Modeling & Assessment*, vol. 17, no. 6, pp. 623-637.
- van der Laan, E., Dekker, R. & Salomon, M. 1996, "Product remanufacturing and disposal: A numerical comparison of alternative control strategies", *International Journal of Production Economics*, vol. 45, no. 1-3, pp. 489.
- van der Laan, E., Dekker, R., Salomon, M. & Ridder, A. 1996, "An (s, Q) inventory model with remanufacturing and disposal", *International Journal of Production Economics*, vol. 46-47, pp. 339.
- van der Laan, E. & Salomon, M. 1997, "Production planning and inventory control with remanufacturing and disposal", *European Journal of Operational Research*, vol. 102, no. 2, pp. 264.
- van der Laan, E., Salomon, M. & Dekker, R. 1999, "An investigation of lead-time effects in manufacturing/remanufacturing systems under simple PUSH and PULL control strategies", *European Journal of Operational Research*, vol. 115, no. 1, pp. 195.
- Vasiliu, C. & Dobrea, M. 2012; 1, "Reverse Supply Chain Management Strategies. Lean, Agile and Leagile Strategies Implementation in the Electronic Industry", *Valahian Journal of Economic Studies*, vol. 3, no. 3, pp. 23.
- Vasudevan, H., Kalamkar, V. & Terkar, R. 2012; 1, "Remanufacturing for Sustainable Development: Key Challenges, Elements, and Benefits", *International Journal of Innovation, Management and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 84.

- Vlachos, D., Georgiadis, P. & Iakovou, E. 2007a, "A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains", *Computers & Operations Research*, vol. 34, no. 2, pp. 367.
- Vlachos, D., Georgiadis, P. & Iakovou, E. 2007b, "A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains", *Computers & Operations Research*, vol. 34, no. 2, pp. 367-394.
- Wook Kim, S. 2012; 23, "An investigation of information technology investments on buyer-supplier relationship and supply chain dynamics", *Asian Journal on Quality*, vol. 13, no. 3, pp. 250-267.
- Wright, R.E., Richey, R.G., Tokman, M. & Palmer, J.C. 2011; 1, "Recycling and Reverse Logistics", *The Journal of Applied Business and Economics*, vol. 12, no. 5, pp. 9.
- Xanthopoulos, A., Vlachos, D. & Iakovou, E. 2011, "Optimal Sourcing Decisions for Unreliable Reverse Supply Chains", *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, vol. 28, no. 1, pp. 125-146.
- Yang, Wei. Zeng Yongzhi, Wu Yue 2011, "Research on Factors that Affect the Eco-efficiency of Remanufacturing Closed-loop Supply Chain.", *Contemporary Logistics*, vol. 02.
- Zhang, R., Zhang, H. & Liu, B. 2012; 17, "Selection of reverse-logistics servicer for electronic products with fuzzy comprehensive evaluation method", *Grey Systems: Theory and Application*, vol. 2, no. 2, pp. 207-216.
- Zhu, Q. & Cote, R.P. 2004, "Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group", *Journal of Cleaner Production*, vol. 12, no. 8-10, pp. 1025-1035.
- Zhu, Q. & Sarkis, J. 2004, "Relationships between operational practices and performance among early adopters of green supply chain management practices in Chinese manufacturing enterprises", *Journal of Operations Management*, vol. 22, no. 3, pp. 265-289.
- Zhu, Q., Sarkis, J. & Geng, Y. 2005, "Green supply chain management in China: pressures, practices and performance", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 25, no. 5/6, pp. 449.
- Zhu, Q., Sarkis, J. & Lai, K. 2008, "Confirmation of a measurement model for green supply chain management practices implementation", *International Journal of Production Economics*, vol. 111, no. 2, pp. 261-273.

### Normativa

Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos.

Real Decreto 1020/1993 de 25 de junio

Ley 21/1992, de 16 de julio, de industria

Páginas Web

[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

[www.springerlink.com](http://www.springerlink.com)

[www.wiley.com](http://www.wiley.com)

[www.vensim.com](http://www.vensim.com)

[www.diariomotor.com](http://www.diariomotor.com)

[www.aedive.es](http://www.aedive.es)

[www.hipotecasyeuribor.com](http://www.hipotecasyeuribor.com)

[www.rameznaam.com](http://www.rameznaam.com)

[www.ine.es](http://www.ine.es)

[www.europapress.es](http://www.europapress.es)



## INDICE DE TABLAS

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1-1 Objetivos Generales para el modelo de logística inversa.....                                       | 15  |
| Tabla 1-2 Hipótesis a comprobar en el caso de estudio (Objetivos específicos).....                           | 16  |
| Tabla 2-1. Contenidos de la Agenda de Investigación en Dirección de Operaciones. .                           | 24  |
| Tabla 2-2. Temas de interés en Dirección de Operaciones. ....                                                | 27  |
| Tabla 2-3 Definiciones de Dirección de Operaciones. ....                                                     | 27  |
| Tabla 2-4. Definiciones de Gestión de la Cadena de Suministro. ....                                          | 28  |
| Tabla 2-5. Herramientas actuales de la Dirección de Operaciones. ....                                        | 31  |
| Tabla 2-6. Necesidades de reorientación de la Dirección de Operaciones según<br>diversos autores. ....       | 34  |
| Tabla 2-7. Futuras líneas de investigación en Dirección de Operaciones. ....                                 | 36  |
| Tabla 3-1 Definiciones de Gestión de la Cadena de suministro Inversa.....                                    | 37  |
| Tabla 3-2. Definiciones de Logística Inversa. ....                                                           | 39  |
| Tabla 3-3. Razones para que un producto ingrese en la cadena inversa.....                                    | 46  |
| Tabla 3-4 Drivers que afectan a la GSCM. ....                                                                | 49  |
| Tabla 4-1- Clasificación de artículos según el tema de estudio de la GSCM.....                               | 53  |
| Tabla 4-2 Clasificación de los temas de estudio de la GSCM .....                                             | 56  |
| Tabla 4-3 Opciones disponibles para la recuperación al final de la vida de los equipos<br>electrónicos ..... | 65  |
| Tabla 4-4 Ventajas del RFID sobre el código de barras. ....                                                  | 72  |
| Tabla 4-5 Clasificación de artículos según el propósito de la investigación. ....                            | 78  |
| Tabla 4-6 Lista de ítems a medir para la implementación de las prácticas de la GSCM.<br>.....                | 85  |
| Tabla 4-7 Lista de ítems a medir para el desarrollo de resultados de las prácticas de la<br>GSCM.....        | 86  |
| Tabla 4-8 Resumen de Hipótesis y Propositiones en el desarrollo de teoría en la<br>GSCM.....                 | 87  |
| Tabla 4-9. Actividades de la logística inversa.....                                                          | 102 |
| Tabla 4-10 Clasificación artículos según el tipo. ....                                                       | 109 |
| Tabla 4-11- Artículos según el tipo de metodología aplicada. ....                                            | 118 |
| Tabla 4-12 Artículos con Colaboraciones entre países.....                                                    | 126 |
| Tabla 4-13 Artículos clasificados según los países. ....                                                     | 127 |
| Tabla 5-1 Interpretación de las relaciones de los diagramas causales. ....                                   | 142 |
| Tabla 11-1 Vehículos eléctricos fabricados en España. ....                                                   | 256 |
| Tabla 11-2 Tipos de patrones de demanda considerados.....                                                    | 257 |
| Tabla 11-3 Precios de venta iniciales de los componentes.....                                                | 259 |
| Tabla 11-4 Depreciación de edificaciones según RD 1020/1993.....                                             | 260 |
| Tabla 11-5 Precios de venta considerados en el año inicial de la simulación.....                             | 261 |
| Tabla 11-6 Costes operativos considerados en el año inicial de la simulación. ....                           | 263 |
| Tabla 11-7 Evolución del Euribor en 2013 y 2014. ....                                                        | 267 |



|                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 11-8 Bondad de ajuste a la distribución normal para el IPC entre los años 2002 y 2008.....                                                             | 272 |
| Tabla 11-9 Objetivos Generales e Hipótesis de estudio para el caso de estudio.....                                                                           | 277 |
| Tabla 11-10 Hipótesis de estudio para el caso de estudio (Objetivos específicos).....                                                                        | 278 |
| Tabla 12-1 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 1 .....                                                                              | 301 |
| Tabla 12-2 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 1.                                                                                   |     |
| Sensibilidad de Tasa de descuento anual entre el 3% y el 7% .....                                                                                            | 304 |
| Tabla 12-3 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 1.                                                                                   |     |
| Sensibilidad del Tiempo de residencia entre el 3 y 8 años.....                                                                                               | 307 |
| Tabla 12-4 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 1.                                                                                   |     |
| Sensibilidad de la Tasa impuesta por la legislación entre 1.000 y 5.000 €/ud. ....                                                                           | 310 |
| Tabla 13-1 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 2 .....                                                                              | 334 |
| Tabla 13-2 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 2.                                                                                   |     |
| Sensibilidad de Tasa de descuento anual entre el 3% y el 7% .....                                                                                            | 337 |
| Tabla 13-3 . Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 2.                                                                                 |     |
| Sensibilidad del Tiempo de residencia entre el 3 y 8 años.....                                                                                               | 340 |
| Tabla 13-4 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 2.                                                                                   |     |
| Sensibilidad de la Tasa impuesta por la legislación entre 1.000 y 5.000 €/ud. ....                                                                           | 343 |
| Tabla 14-1 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 3 .....                                                                              | 363 |
| Tabla 14-2 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 3.                                                                                   |     |
| Sensibilidad de Tasa de descuento anual entre el 3% y el 7% .....                                                                                            | 365 |
| Tabla 14-3 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 3.                                                                                   |     |
| Sensibilidad del Porcentaje de error entre el 5% y el 25% .....                                                                                              | 368 |
| Tabla 14-4 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 3.                                                                                   |     |
| Sensibilidad del Tiempo de residencia entre 3 y 8 años y de los tiempos de inspección, tiempos de producción, tiempos de reprocesado entre 2 y 12 días. .... | 371 |
| Tabla 15-1 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 4 .....                                                                              | 390 |
| Tabla 15-2 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 4.                                                                                   |     |
| Sensibilidad de la Tasa de descuento anual entre un 3% y un 7%. ....                                                                                         | 393 |
| Tabla 15-3 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 4.                                                                                   |     |
| Sensibilidad del Porcentaje de Desensamblados sin defectos entre el 75% y el 95%. ....                                                                       | 396 |
| Tabla 15-4 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 4.                                                                                   |     |
| Sensibilidad del Tiempo de residencia entre 3 y 8 años.....                                                                                                  | 398 |
| Tabla 16-1 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 5 .....                                                                              | 413 |
| Tabla 16-2 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 5.                                                                                   |     |
| Sensibilidad de la Tasa de descuento anual entre un 3% y un 7%. ....                                                                                         | 416 |
| Tabla 16-3 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 5.                                                                                   |     |
| Sensibilidad del Tiempo de residencia entre 3 y 8 años.....                                                                                                  | 419 |
| Tabla 16-4 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 5.                                                                                   |     |
| Sensibilidad del Porcentaje de error entre un 5 y un 25%.....                                                                                                | 421 |
| Tabla 16-5 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 5.                                                                                   |     |
| Sensibilidad del Porcentaje de desensamblados sin defectos entre un 5 y un 25%...                                                                            | 424 |

|                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 16-6 Valores del VAN según los patrones de demanda para escenario 5. Sensibilidad de los tiempos de producción, inspección, reprocesado y desensamblado considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días ..... | 427 |
| Tabla 17-1 Estadísticos descriptivos del VAN con respecto a las variables Patrón de demanda y Escenario. ....                                                                                                                    | 437 |
| Tabla 17-2 Estadísticos descriptivos del VAN con respecto a las variables Patrón de demanda, Escenario y porcentaje de desensamblado sin defectos. ....                                                                          | 439 |
| Tabla 17-3 Estadísticos descriptivos del VAN con respecto a las variables Patrón de demanda, Escenario y porcentaje de error. ....                                                                                               | 441 |
| Tabla 17-4 Estadísticos descriptivos del VAN con respecto a las variables Patrón de demanda, Escenario y Tasa de legislación.....                                                                                                | 444 |
| Tabla 17-5 Estadísticos descriptivos del VAN con respecto a las variables Patrón de demanda, Escenario y Tasa de legislación.....                                                                                                | 446 |
| Tabla 17-6 Estadísticos descriptivos del VAN con respecto a las variables Patrón de demanda, Escenario y Tasa de descuento anual del VAN. ....                                                                                   | 450 |



## INDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ilustración 4-1 Clasificación de los temas de la GSCM.....                                                                                                                              | 55  |
| Ilustración 4-2 Árbol de decisión ELDA. ....                                                                                                                                            | 74  |
| Ilustración 4-3 Jerarquía en logística inversa.....                                                                                                                                     | 81  |
| Ilustración 5-1 Ejemplo de Diagrama causal con bucles de realimentación.....                                                                                                            | 143 |
| Ilustración 5-2 Ejemplo de un Diagrama Causal de un sistema ecológico .....                                                                                                             | 144 |
| Ilustración 5-3 Ejemplo de un Diagrama de Forrester de un sistema ecológico .....                                                                                                       | 148 |
| Ilustración 6-1 Esquema general de los flujos materiales del modelo desarrollado ....                                                                                                   | 155 |
| Ilustración 6-2 Diagrama causal de los flujos materiales y de información del modelo<br>propuesto. ....                                                                                 | 157 |
| Ilustración 6-3 Diagrama causal de los flujos económicos del modelo propuesto.....                                                                                                      | 158 |
| Ilustración 7-1- Diagrama de Forrester de la cadena directa. ....                                                                                                                       | 161 |
| Ilustración 7-2 Diagrama de Forrester de la cadena inversa. ....                                                                                                                        | 164 |
| Ilustración 7-3 Diagrama de Forrester de los flujos de materiales por liquidación. ....                                                                                                 | 170 |
| Ilustración 8-1 Diagrama de Forrester de los flujos de información de la cadena directa.<br>.....                                                                                       | 173 |
| Ilustración 8-2 Diagrama de Forrester de los flujos de información de la cadena<br>inversa.....                                                                                         | 183 |
| Ilustración 9-1 Diagrama de Forrester de los flujos económicos de ingresos .....                                                                                                        | 189 |
| Ilustración 9-2. Diagrama de Forrester de los costes de actividad.....                                                                                                                  | 194 |
| Ilustración 9-3 Diagrama de Forrester de la rutina de simulación del préstamo. ....                                                                                                     | 199 |
| Ilustración 9-4 Esquema básico de simulación del préstamo .....                                                                                                                         | 199 |
| Ilustración 9-5 Diagrama de Forrester de la rutina de simulación de la línea de crédito.<br>.....                                                                                       | 205 |
| Ilustración 9-6 Esquema básico de simulación de la línea de crédito.....                                                                                                                | 206 |
| Ilustración 9-7 Diagrama de Forrester del cálculo del Valor Actual Neto.....                                                                                                            | 221 |
| Ilustración 11-1 Batería de litio de vehículo Renault. ....                                                                                                                             | 254 |
| Ilustración 11-2 Batería de litio de vehículo Renault cargándose. ....                                                                                                                  | 254 |
| Ilustración 12-1 Esquema de red sólo con cadena directa sin recogida de productos.<br>(Escenario 1).....                                                                                | 281 |
| Ilustración 13-1 Esquema de red sólo con cadena directa con recogida de productos.<br>(Escenario 2).....                                                                                | 325 |
| Ilustración 14-1 Esquema de red con vertido controlado de productos usados y<br>reprocesado. (Escenario 3).....                                                                         | 351 |
| Ilustración 15-1 Esquema de red con vertido controlado de productos usados y<br>Canibalización de materiales para la producción. (Escenario 4).....                                     | 381 |
| Ilustración 16-1 Esquema de red con vertido controlado de productos usados, el<br>reprocesado de los mismos y la Canibalización de materiales para la producción.<br>(Escenario 5)..... | 403 |



## INDICE DE GRÁFICAS

|                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfica 4-1 Porcentaje de artículos según el tema de estudio de la GSCM.....                                        | 76  |
| Gráfica 4-2 Evolución de los artículos según el tema de estudio de la GSCM .....                                    | 77  |
| Gráfica 4-3 Porcentaje de artículos según el propósito de la investigación. ....                                    | 108 |
| Gráfica 4-4 Evolución de artículos según el propósito de la investigación. ....                                     | 109 |
| Gráfica 4-5. Porcentaje de artículos según el tipo. ....                                                            | 111 |
| Gráfica 4-6 Evolución de artículos según el tipo. ....                                                              | 112 |
| Gráfica 4-7 Número de artículos según la técnica empleada. ....                                                     | 115 |
| Gráfica 4-8 Porcentaje de artículos según el origen de los datos. ....                                              | 116 |
| Gráfica 4-9 Numero de artículos según la técnica de análisis y el origen de los datos. ....                         | 117 |
| Gráfica 4-10 Evolución de los artículos según el grupo de investigación. ....                                       | 123 |
| Gráfica 4-11 Porcentaje de contribución de los países del grupo Estados Unidos-<br>Canadá-Australia.....            | 124 |
| Gráfica 4-12 Porcentaje de contribución de los países del grupo Europa .....                                        | 124 |
| Gráfica 4-13 Porcentaje de contribución de los países del grupo Asia .....                                          | 125 |
| Gráfica 4-14 Porcentaje de contribución de los países del grupo América del Sur y<br>Central.....                   | 125 |
| Gráfica 4-15 Porcentaje de contribución de los países del grupo África.....                                         | 126 |
| Gráfica 7-1 Ejemplo de patrón de demanda .....                                                                      | 163 |
| Gráfica 7-2 Ejemplo de evolución del Tiempo de residencia .....                                                     | 166 |
| Gráfica 8-1 Ejemplo de suavizado exponencial aplicado a un aumento de las ventas<br>con $\alpha=0,25$ .....         | 175 |
| Gráfica 8-2 Ejemplo de suavizado exponencial aplicado a un descenso de las ventas<br>con $\alpha=0,25$ .....        | 175 |
| Gráfica 8-3 Ejemplo de suavizado exponencial aplicado a un patrón de las ventas<br>variable con $\alpha=0,25$ ..... | 176 |
| Gráfica 9-1 Resultados de préstamo de Prueba 1 Préstamo.....                                                        | 202 |
| Gráfica 9-2 Resultados de préstamo de Prueba 2 Préstamo.....                                                        | 203 |
| Gráfica 9-3 Resultados de préstamo de Prueba 3 Préstamo.....                                                        | 205 |
| Gráfica 9-4. Resultados de Prueba 1 Línea de crédito .....                                                          | 211 |
| Gráfica 9-5 Resultados de Prueba 2 Línea de crédito .....                                                           | 214 |
| Gráfica 9-6 Resultados de Prueba 3 Línea de crédito .....                                                           | 217 |
| Gráfica 9-7 Resultados de Prueba 4 Línea de crédito .....                                                           | 220 |
| Gráfica 11-1 Patrones de demanda considerados en la simulación.....                                                 | 257 |
| Gráfica 11-2 Valores acumulados ventas según los patrones de demanda.....                                           | 258 |
| Gráfica 11-3 Resumen de patrones de demanda considerados .....                                                      | 258 |
| Gráfica 11-4 Evolución de los costes de baterías eléctricas.....                                                    | 268 |
| Gráfica 11-5 Evolución de los precios considerados en la simulación. ....                                           | 269 |
| Gráfica 11-6 Evolución de los costes considerados en la simulación. ....                                            | 270 |
| Gráfica 11-7 Evolución del IPC 1993-2015.....                                                                       | 271 |

|                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfica 11-8 Evolución del IPC por meses 2002-2015. ....                                                                                                    | 271 |
| Gráfica 11-9 Evolución de la inflación prevista por el FMI hasta 2020. Fecha de elaboración 2013. ....                                                      | 272 |
| Gráfica 11-10 Construcción de curva de IPC para la simulación. ....                                                                                         | 273 |
| Gráfica 11-11 Evolución de los costes de almacenamiento de la simulación. ....                                                                              | 274 |
| Gráfica 11-12 Evolución de los costes de transporte desde 2002 hasta 2013. ....                                                                             | 275 |
| Gráfica 11-13 Evolución de los costes de transporte empleados en la simulación. ....                                                                        | 276 |
| Gráfica 12-1 Gráfica Demanda-Ventas con Patrón de demanda 1.(Escenario 1).....                                                                              | 282 |
| Gráfica 12-2 Envíos a Distribuidores, Envíos a Mayoristas, Envíos a Minoristas y Ventas con Patrón de demanda 1. (Escenario 1) .....                        | 283 |
| Gráfica 12-3 Tiempo de residencia con Patrón de demanda 1. (Escenario 1).....                                                                               | 283 |
| Gráfica 12-4 Gráfica de Ratio de consumo de materiales y Ratio de producción con Patrón de demanda 1. (Escenario 1) .....                                   | 284 |
| Gráfica 12-5 Gráfica de comparación de inventarios con Patrón de demanda 1. (Escenario1) .....                                                              | 284 |
| Gráfica 12-6 Gráfica de Inventario de Minoristas y Liquidación de inventario con Patrón de demanda 1. (Escenario 1) .....                                   | 285 |
| Gráfica 12-7 Pedidos pendientes frente a la Demanda con Patrón de demanda 1. (Escenario 1).....                                                             | 286 |
| Gráfica 12-8 Productos usados frente a Productos incontroladamente desechados con Patrón de demanda 1. (Escenario 1) .....                                  | 286 |
| Gráfica 12-9 Ventas,Demanda y Productos usados con Patrón de demanda 1. (Escenario 1).....                                                                  | 287 |
| Gráfica 12-10 Costes operativos y Costes por desechado incontrolado de productos con Patrón de demanda 1. (Escenario 1).....                                | 288 |
| Gráfica 12-11 Desglose de los Costes operativos con Patrón de demanda 1. (Escenario 1).....                                                                 | 289 |
| Gráfica 12-12 Ingresos por ventas e ingresos por liquidación de inventarios con Patrón de demanda 1. (Escenario 1) .....                                    | 290 |
| Gráfica 12-13 Comparación de Costes totales e Ingresos totales con Patrón de demanda 1. (Escenario 1).....                                                  | 291 |
| Gráfica 12-14 Comparación de los flujos de caja antes y después de aplicar los intereses de la línea de crédito con Patrón de demanda 1. (Escenario 1)..... | 291 |
| Gráfica 12-15 Comparación de los intereses y comisiones de la línea de crédito con Patrón de demanda 1. (Escenario 1). ....                                 | 292 |
| Gráfica 12-16 Liquidación de intereses totales de la línea de crédito con Patrón de demanda 1. (Escenario 1).....                                           | 292 |
| Gráfica 12-17 Valor actual neto con Patrón de demanda 1. (Escenario 1).....                                                                                 | 293 |
| Gráfica 12-18 Ventas para los distintos patrones de demanda. (Escenario 1). ....                                                                            | 294 |
| Gráfica 12-19 Ratios de consumo de materiales y Ratios de producción para los distintos patrones de demanda. (Escenario 1). ....                            | 294 |
| Gráfica 12-20 Gráfica de comparación de Inventario de Minoristas para los distintos patrones de demanda. (Escenario 1). ....                                | 295 |
| Gráfica 12-21 Liquidación de inventarios para los distintos patrones de demanda. (Escenario 1). ....                                                        | 295 |

|                                                                                                                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfica 12-22 Productos usados y Productos incontroladamente desechados.<br>(Escenario 1).                                                                                                                                                              | 296 |
| Gráfica 12-23 Costes operativos para los distintos patrones de demanda.(Escenario 1).                                                                                                                                                                   | 296 |
| Gráfica 12-24 Costes por desechado incontrolado para los distintos patrones de<br>demanda. (Escenario 1).                                                                                                                                               | 297 |
| Gráfica 12-25 Costes totales por período para los distintos patrones de demanda.<br>(Escenario 1).                                                                                                                                                      | 297 |
| Gráfica 12-26 Ingresos totales por período para los distintos patrones de demanda.<br>(Escenario 1).                                                                                                                                                    | 298 |
| Gráfica 12-27 Flujos de caja para los distintos patrones de demanda. (Escenario 1).                                                                                                                                                                     | 298 |
| Gráfica 12-28 Flujos de caja tras intereses de línea de crédito para los distintos<br>patrones de demanda. (Escenario 1).                                                                                                                               | 299 |
| Gráfica 12-29 Intereses y comisiones de la línea de crédito con Patrón de demanda 2.<br>(Escenario 1).                                                                                                                                                  | 299 |
| Gráfica 12-30 Intereses y comisiones de la línea de crédito con Patrón de demanda 3.<br>(Escenario 1).                                                                                                                                                  | 300 |
| Gráfica 12-31 Intereses y comisiones de la línea de crédito con Patrón de demanda 4.<br>(Escenario 1).                                                                                                                                                  | 300 |
| Gráfica 12-32 VAN para los distintos patrones de demanda. (Escenario 1).                                                                                                                                                                                | 301 |
| Gráfica 12-33. Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el<br>patrón de demanda 1. Variación de la tasa de descuento anual considerándola<br>uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones . (Escenario 1). | 302 |
| Gráfica 12-34 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el<br>patrón de demanda 2. Variación de la tasa de descuento anual considerándola<br>uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones . (Escenario 1).  | 303 |
| Gráfica 12-35 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el<br>patrón de demanda 3. Variación de la tasa de descuento anual considerándola<br>uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 1).   | 303 |
| Gráfica 12-36. Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el<br>patrón de demanda 4. Variación de la tasa de descuento anual considerándola<br>uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones . (Escenario 1). | 304 |
| Gráfica 12-37 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el<br>patrón de demanda 1. Variación del Tiempo de residencia considerándolo<br>uniformemente distribuido entre el 3 y el 8 años con 200 simulaciones . (Escenario 1).    | 305 |
| Gráfica 12-38 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el<br>patrón de demanda 2. Variación del Tiempo de residencia considerándolo<br>uniformemente distribuido entre el 3 y el 8 años con 200 simulaciones . (Escenario 1).    | 306 |
| Gráfica 12-39 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el<br>patrón de demanda 3. Variación del Tiempo de residencia considerándolo                                                                                              |     |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| uniformemente distribuido entre el 3 y el 8 años con 200 simulaciones . (Escenario 1).                                                                                                                                                                                                                     | 306 |
| Gráfica 12-40 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre el 3 y el 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 1).                                                              | 307 |
| Gráfica 12-41 Análisis de sensibilidad del VAN mediante Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 1).                                                  | 308 |
| Gráfica 12-42 Análisis de sensibilidad del VAN mediante Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 1).                                                  | 309 |
| Gráfica 12-43 Análisis de sensibilidad del VAN mediante Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones . (Escenario 1).                                                 | 309 |
| Gráfica 12-44 Análisis de sensibilidad del VAN mediante Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 1).                                                  | 310 |
| Gráfica 12-45 Análisis de sensibilidad de los productos usados mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones . (Escenario 1).         | 311 |
| Gráfica 12-46 Análisis de sensibilidad de los productos usados mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).          | 312 |
| Gráfica 12-47 Análisis de sensibilidad de los productos usados mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).          | 312 |
| Gráfica 12-48 Análisis de sensibilidad de los productos usados mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).          | 313 |
| Gráfica 12-49 Análisis de sensibilidad del Inventario de los minoristas mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1). | 313 |
| Gráfica 12-50 Análisis de sensibilidad del Inventario de los minoristas mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1). | 314 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfica 12-51 Análisis de sensibilidad del Inventario de los minoristas mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones . (Escenario 1).    | 314 |
| Gráfica 12-52 Análisis de sensibilidad del Inventario de los minoristas mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones . (Escenario 1).    | 315 |
| Gráfica 12-53 Análisis de sensibilidad del Inventario de los mayoristas mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).     | 315 |
| Gráfica 12-54 Análisis de sensibilidad del Inventario de los mayoristas mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).     | 316 |
| Gráfica 12-55 Análisis de sensibilidad del Inventario de los mayoristas mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).     | 316 |
| Gráfica 12-56 Análisis de sensibilidad del Inventario de los mayoristas mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).     | 317 |
| Gráfica 12-57 Análisis de sensibilidad del Inventario de los distribuidores mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1). | 317 |
| Gráfica 12-58 Análisis de sensibilidad del Inventario de los distribuidores mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1). | 318 |
| Gráfica 12-59 Análisis de sensibilidad del Inventario de los distribuidores mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1). | 318 |
| Gráfica 12-60 Análisis de sensibilidad del Inventario de los distribuidores mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1). | 319 |
| Gráfica 12-61 Análisis de sensibilidad del Inventario útil mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1).                  | 319 |
| Gráfica 12-62 Análisis de sensibilidad del Inventario útil mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de todos los tiempos de suministro                                                                                                                                         |     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1). .....                                                                                                                                                                        | 320 |
| Gráfica 12-63 Análisis de sensibilidad del Inventario útil mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1). ..... | 320 |
| Gráfica 12-64 Análisis de sensibilidad del Inventario útil mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de todos los tiempos de suministro de la cadena directa considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 1). ..... | 321 |
| Gráfica 13-1 Pulsos de incremento y reducción de la capacidad de recogida para el patrón de demanda 1. (Escenario 2).....                                                                                                                                                                           | 326 |
| Gráfica 13-2 Construcción y reducción de la capacidad de recogida para el patrón de demanda 1. (Escenario 2).....                                                                                                                                                                                   | 327 |
| Gráfica 13-3 Comparativa de la capacidad de recogida deseada y de la capacidad de recogida efectiva para el patrón de demanda 1. (Escenario 2). .....                                                                                                                                               | 327 |
| Gráfica 13-4 Comparativa de los valores acumulados de los productos desechados controladamente frente a los productos incontroladamente desechados para el patrón de demanda 1. (Escenario 2). .....                                                                                                | 328 |
| Gráfica 13-5 Costes diarios de capacidad de recogida debidos al incremento y reducción de dicha capacidad para el patrón de demanda 1. (Escenario 2).....                                                                                                                                           | 329 |
| Gráfica 13-6 Comparativa de los costes por desechado controlado y los costes por desechado incontrolado de productos para el patrón de demanda 1. (Escenario 2)..                                                                                                                                   | 329 |
| Gráfica 13-7 Productos no reprocesados para el patrón de demanda 1. (Escenario 2). .....                                                                                                                                                                                                            | 330 |
| Gráfica 13-8 Desechado final de productos y Ratio de desechado controlado para el patrón de demanda 1. (Escenario 2).....                                                                                                                                                                           | 330 |
| Gráfica 13-9 Valor actual neto para el patrón de demanda 1. (Escenario 2). .....                                                                                                                                                                                                                    | 331 |
| Gráfica 13-10 Capacidad de recogida para los distintos patrones de demanda. (Escenario 2).....                                                                                                                                                                                                      | 331 |
| Gráfica 13-11 Costes de inversión para los distintos patrones de demanda. (Escenario 2). .....                                                                                                                                                                                                      | 332 |
| Gráfica 13-12 Gráfica de comparación de los costes por desechado incontrolado de productos para los distintos patrones de demanda. (Escenario 2). .....                                                                                                                                             | 332 |
| Gráfica 13-13 Costes por desechado controlado de productos para los distintos patrones de demanda. (Escenario 2).....                                                                                                                                                                               | 333 |
| Gráfica 13-14 VAN para los distintos patrones de demanda. (Escenario 2). .....                                                                                                                                                                                                                      | 333 |
| Gráfica 13-15 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 2).                                                     | 335 |
| Gráfica 13-16 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 2).                                                     | 336 |
| Gráfica 13-17 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 2).                                                     | 336 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfica 13-18 Análisis de sensibilidad mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 2).                         | 337 |
| Gráfica 13-19 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 2).                                                                  | 338 |
| Gráfica 13-20 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 2).                                                                  | 339 |
| Gráfica 13-21 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 2).                                                                  | 339 |
| Gráfica 13-22 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 2).                                                                  | 340 |
| Gráfica 13-23 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 2). | 341 |
| Gráfica 13-24 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 2). | 342 |
| Gráfica 13-25 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 2). | 342 |
| Gráfica 13-26 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 2). | 343 |
| Gráfica 13-27 Análisis de sensibilidad de la capacidad de recogida mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 2).                                              | 344 |
| Gráfica 13-28 Análisis de sensibilidad de la capacidad de recogida mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 2).                                              | 344 |
| Gráfica 13-29 Análisis de sensibilidad de la capacidad de recogida mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 2).                                              | 345 |
| Gráfica 13-30 Análisis de sensibilidad de la capacidad de recogida mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del tiempo de residencia entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 2).                                              | 345 |
| Gráfica 13-31 Análisis de sensibilidad de los costes por desechado incontrolado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de la tasa                                                                                                     |     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 2).....                                                                                                                                                                     | 346 |
| Gráfica 13-32 Análisis de sensibilidad de los costes por desechado incontrolado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 2)..... | 346 |
| Gráfica 13-33 Análisis de sensibilidad de los costes por desechado incontrolado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 2)..... | 347 |
| Gráfica 13-34 Análisis de sensibilidad de los costes por desechado incontrolado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de la tasa impuesta por la legislación considerándola uniformemente distribuida entre 1000 y 5000 euros/ud con 200 simulaciones. (Escenario 2)..... | 347 |
| Gráfica 14-1 Comparativa entre la Capacidad de reprocesado deseada y la Capacidad de reprocesado para el patrón de demanda 1 . (Escenario 3).....                                                                                                                                                            | 352 |
| Gráfica 14-2 Pulsos de necesidad de préstamos para financiar la construcción de la planta de clasificación y reprocesado para el patrón de demanda 1. (Escenario 3)..                                                                                                                                        | 353 |
| Gráfica 14-3 Comparativa de las Necesidades de capital acumulado y el Capital total pagado acumulado para financiar la construcción de la planta de clasificación y reprocesado para el patrón de demanda 1.(Escenario 3). .....                                                                             | 353 |
| Gráfica 14-4 Comparativa del Coste diario de capacidad de recogida y el Coste diario de capacidad de reprocesado para el patrón de demanda 1. (Escenario 3). .....                                                                                                                                           | 354 |
| Gráfica 14-5 Costes de inversión para el patrón de demanda 1 . (Escenario 3). .....                                                                                                                                                                                                                          | 354 |
| Gráfica 14-6 Comparativa de los Costes por desechado controlado y los Costes por desechado incontrolado para el patrón de demanda 1 . (Escenario 3). .....                                                                                                                                                   | 355 |
| Gráfica 14-7 Comparativa de la Capacidad de reprocesado, el Ratio de reprocesado y el Ratio de producción para el patrón de demanda 1. (Escenario 3). .....                                                                                                                                                  | 356 |
| Gráfica 14-8 Comparativa de los Ingresos por Liquidación de inventarios y los Ingresos por Ventas para el patrón de demanda 1. (Escenario 3). .....                                                                                                                                                          | 356 |
| Gráfica 14-9 Ingresos por Liquidación de activos para el patrón de demanda 1. (Escenario 3). .....                                                                                                                                                                                                           | 357 |
| Gráfica 14-10 Ingresos por ventas de productos en mercados secundarios para el patrón de demanda 1. (Escenario 3). .....                                                                                                                                                                                     | 357 |
| Gráfica 14-11 Valor Actual Neto para el patrón de demanda 1. (Escenario 3). .....                                                                                                                                                                                                                            | 358 |
| Gráfica 14-12 Capacidad de reprocesado para los distintos patrones de demanda. (Escenario 3). .....                                                                                                                                                                                                          | 358 |
| Gráfica 14-13 Ratio de reprocesado para los distintos patrones de demanda. (Escenario 3). .....                                                                                                                                                                                                              | 359 |
| Gráfica 14-14 Productos usados vendidos en mercados secundarios para los distintos patrones de demanda. Valores acumulados. (Escenario 3). .....                                                                                                                                                             | 359 |
| Gráfica 14-15 Productos desechados controladamente para los distintos patrones de demanda. Valores acumulados. (Escenario 3). .....                                                                                                                                                                          | 360 |
| Gráfica 14-16 Productos incontroladamente desechados para los distintos patrones de demanda. Valores acumulados. (Escenario 3). .....                                                                                                                                                                        | 360 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfica 14-17 Costes diarios de capacidad de reprocesado para los distintos patrones de demanda. (Escenario 3).....                                                                                                                                                                                                                                   | 361 |
| Gráfica 14-18 Ingresos por liquidación de activos para los distintos patrones de demanda. (Escenario 3). ....                                                                                                                                                                                                                                         | 361 |
| Gráfica 14-19 Ingresos por ventas de productos en mercados secundarios para los distintos patrones de demanda. (Escenario 3). ....                                                                                                                                                                                                                    | 362 |
| Gráfica 14-20 VAN para los distintos patrones de demanda. (Escenario 3). ....                                                                                                                                                                                                                                                                         | 362 |
| Gráfica 14-21 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 3).                                                                                               | 363 |
| Gráfica 14-22 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 3).                                                                                               | 364 |
| Gráfica 14-23 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 3).                                                                                               | 364 |
| Gráfica 14-24 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 3).                                                                                               | 365 |
| Gráfica 14-25 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3). ....                                                                                               | 366 |
| Gráfica 14-26 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3). ....                                                                                               | 367 |
| Gráfica 14-27 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3). ....                                                                                               | 367 |
| Gráfica 14-28 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3). ....                                                                                               | 368 |
| Gráfica 14-29 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de los tiempos de inspección, tiempos de producción, tiempos de reprocesado entre 2 y 12 días y el tiempo de residencia entre 3 y 8 años considerándolos uniformemente distribuidos con 200 simulaciones. (Escenario 3). .... | 369 |
| Gráfica 14-30 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de los tiempos de inspección, tiempos de producción, tiempos de reprocesado entre 2 y 12 días y el tiempo de residencia entre 3 y 8 años considerándolos uniformemente distribuidos con 200 simulaciones. (Escenario 3). .... | 370 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfica 14-31 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de los tiempos de inspección, tiempos de producción, tiempos de reprocesado entre 2 y 12 días y el tiempo de residencia entre 3 y 8 años considerándolos uniformemente distribuidos con 200 simulaciones. (Escenario 3). | 370 |
| Gráfica 14-32 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de los tiempos de inspección, tiempos de producción, tiempos de reprocesado entre 2 y 12 días y el tiempo de residencia entre 3 y 8 años considerándolos uniformemente distribuidos con 200 simulaciones. (Escenario 3). | 371 |
| Gráfica 14-33 Análisis de sensibilidad del Coste diario de capacidad de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del Euribor a un año considerándolo uniformemente distribuido entre el 0,5% y el 2,5% con 200 simulaciones. (Escenario 3).                                                          | 372 |
| Gráfica 14-34 Análisis de sensibilidad del Coste diario de capacidad de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del Euribor a un año considerándolo uniformemente distribuido entre el 0,5% y el 2,5% con 200 simulaciones. (Escenario 3).                                                          | 372 |
| Gráfica 14-35 Análisis de sensibilidad del Coste diario de capacidad de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del Euribor a un año considerándolo uniformemente distribuido entre el 0,5% y el 2,5% con 200 simulaciones. (Escenario 3).                                                          | 373 |
| Gráfica 14-36 Análisis de sensibilidad del Coste diario de capacidad de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del Euribor a un año considerándolo uniformemente distribuido entre el 0,5% y el 2,5% con 200 simulaciones. (Escenario 3).                                                          | 373 |
| Gráfica 14-37 Análisis de sensibilidad de la Capacidad de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).                                                                        | 374 |
| Gráfica 14-38 Análisis de sensibilidad de la Capacidad de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).                                                                        | 374 |
| Gráfica 14-39 Análisis de sensibilidad de la Capacidad de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).                                                                        | 375 |
| Gráfica 14-40 Análisis de sensibilidad de la Capacidad de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).                                                                        | 375 |
| Gráfica 14-41 Análisis de sensibilidad del Ratio de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3).                                                                              | 376 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfica 14-42 Análisis de sensibilidad del Ratio de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3). | 376 |
| Gráfica 14-43 Análisis de sensibilidad del Ratio de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3). | 377 |
| Gráfica 14-44 Análisis de sensibilidad del Ratio de reprocesado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre el 5% y el 25% con 200 simulaciones. (Escenario 3). | 377 |
| Gráfica 15-1 Productos no reprocesados para el patrón de demanda 1. (Escenario 4).                                                                                                                                                                                  | 382 |
| Gráfica 15-2 Comparativa de Ratio de recogida y Ratio de desensamblado para el patrón de demanda 1. (Escenario 4).                                                                                                                                                  | 383 |
| Gráfica 15-3 Comparativa de Ratio de desensamblados, Ratio de canibalizables y Ratio de canibalización para el patrón de demanda 1. (Escenario 4).                                                                                                                  | 383 |
| Gráfica 15-4 Comparativa de Materiales a vertedero controlado y Materiales vendidos en mercados secundarios para el patrón de demanda 1. Valores acumulados. (Escenario 4).                                                                                         | 384 |
| Gráfica 15-5 Comparativa de Ratio de canibalización y Ratio de compra de materiales para procesar para el patrón de demanda 1. (Escenario 4).                                                                                                                       | 385 |
| Gráfica 15-6 Inventario de Materiales para procesar para el patrón de demanda 1. (Escenario 4).                                                                                                                                                                     | 385 |
| Gráfica 15-7 Comparativa de Costes totales e ingresos totales para el patrón de demanda 1. (Escenario 4).                                                                                                                                                           | 386 |
| Gráfica 15-8 Valor actual neto para el patrón de demanda 1. (Escenario 4).                                                                                                                                                                                          | 386 |
| Gráfica 15-9 Productos no reprocesados para los distintos patrones de demanda. (Escenario 4).                                                                                                                                                                       | 387 |
| Gráfica 15-10 Ratio de Desensamblado para los distintos patrones de demanda. (Escenario 4).                                                                                                                                                                         | 387 |
| Gráfica 15-11 Ratio de compra de materiales para procesar para los distintos patrones de demanda. (Escenario 4).                                                                                                                                                    | 388 |
| Gráfica 15-12 Gráfica de comparación del Inventario de Materiales para procesar para los distintos patrones de demanda. (Escenario 4).                                                                                                                              | 388 |
| Gráfica 15-13 Productos desechados controladamente para los distintos patrones de demanda. (Escenario 4).                                                                                                                                                           | 389 |
| Gráfica 15-14 Costes totales por periodo para los distintos patrones de demanda. (Escenario 4).                                                                                                                                                                     | 389 |
| Gráfica 15-15 Valor actual neto para los distintos patrones de demanda. (Escenario 4).                                                                                                                                                                              | 390 |
| Gráfica 15-16 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 4).             | 391 |



|                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfica 15-17 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 4).                  | 392 |
| Gráfica 15-18 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 4).                  | 392 |
| Gráfica 15-19 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 4).                  | 393 |
| Gráfica 15-20 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de Porcentaje de desensamblados sin defectos considerándolo uniformemente distribuido entre el 75% y el 95% con 200 simulaciones. (Escenario 4). | 394 |
| Gráfica 15-21 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de Porcentaje de desensamblados sin defectos considerándolo uniformemente distribuido entre el 75% y el 95% con 200 simulaciones. (Escenario 4). | 394 |
| Gráfica 15-22 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de Porcentaje de desensamblados sin defectos considerándolo uniformemente distribuido entre el 75% y el 95% con 200 simulaciones. (Escenario 4). | 395 |
| Gráfica 15-23 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de Porcentaje de desensamblados sin defectos considerándolo uniformemente distribuido entre el 75% y el 95% con 200 simulaciones. (Escenario 4). | 395 |
| Gráfica 15-24 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 4).                           | 396 |
| Gráfica 15-25 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 4).                           | 397 |
| Gráfica 15-26 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 4).                           | 397 |
| Gráfica 15-27 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 4).                           | 398 |
| Gráfica 16-1 Comparativa de la Capacidad de recogida, la Capacidad de reprocesado y la Demanda para el patrón de demanda 1. (Escenario 5).                                                                                                                               | 404 |
| Gráfica 16-2 Comparativa del Ratio de Desensamblado, Ratio de recogida y Ratio de reprocesado para el patrón de demanda 1. (Escenario 5).                                                                                                                                | 406 |
| Gráfica 16-3 Comparativa de los Materiales y de los Productos usados vendidos en mercados secundarios para el patrón de demanda 1. (Escenario 5).                                                                                                                        | 406 |
| Gráfica 16-4 Comparativa de los Materiales a vertederos controlado, Productos desechados controladamente y Productos incontroladamente desechados para el patrón de demanda 1. (Escenario 5).                                                                            | 407 |

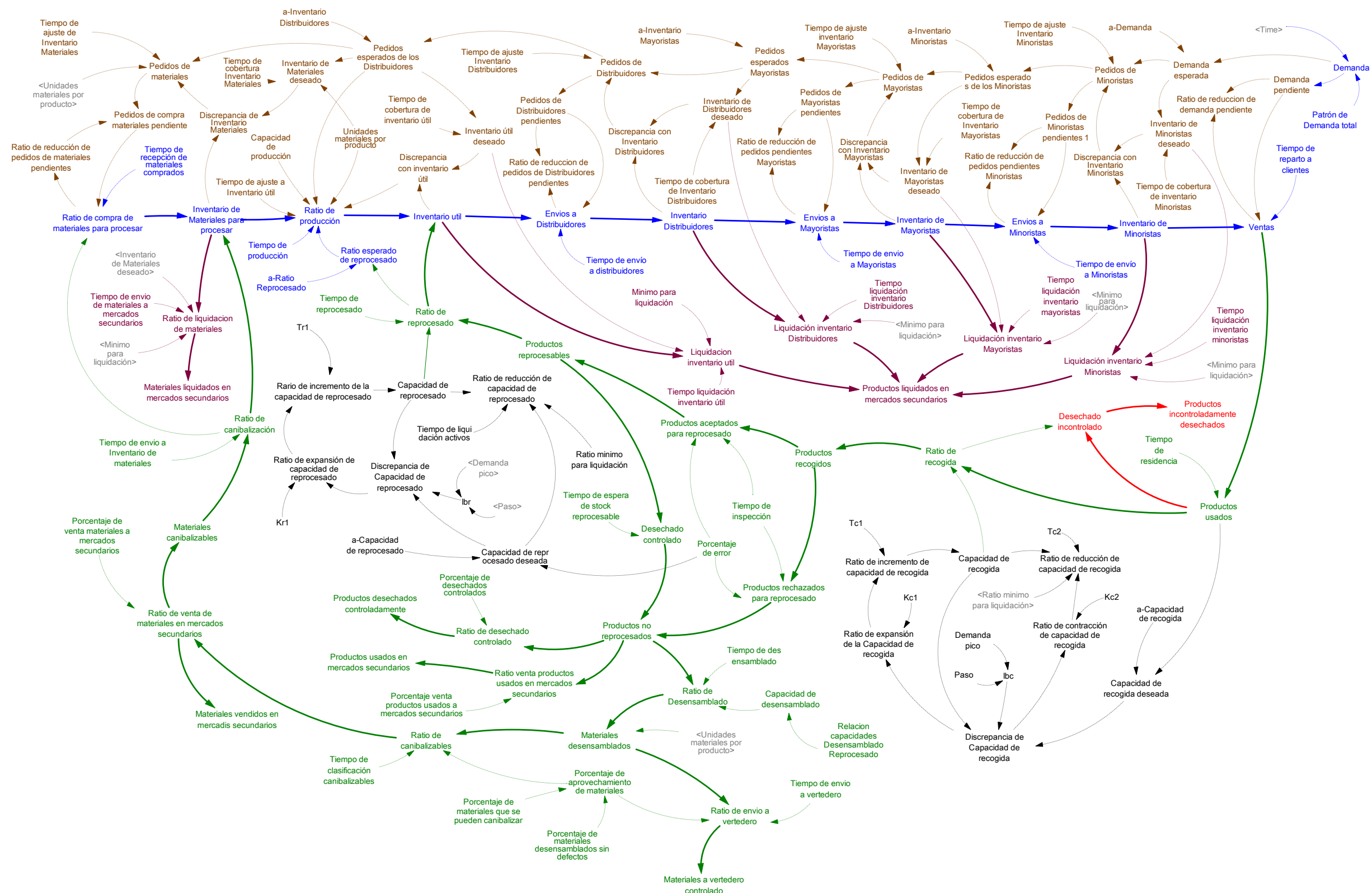
|                                                                                                                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfica 16-5 Comparativa de los costes de operaciones para el patrón de demanda 1. (Escenario 5).                                                                                                                                                       | 408 |
| Gráfica 16-6 Valor actual neto para el patrón de demanda 1. (Escenario 5).                                                                                                                                                                              | 408 |
| Gráfica 16-7 Costes operativos para los distintos patrones de demanda. (Escenario 5).                                                                                                                                                                   | 409 |
| Gráfica 16-8 Costes totales por periodo para los distintos patrones de demanda. (Escenario 5).                                                                                                                                                          | 409 |
| Gráfica 16-9 Ingresos totales por periodo para los distintos patrones de demanda. (Escenario 5).                                                                                                                                                        | 410 |
| Gráfica 16-10 Productos incontroladamente desechados para los distintos patrones de demanda. (Escenario 5).                                                                                                                                             | 410 |
| Gráfica 16-11 Materiales a vertedero controlado para los distintos patrones de demanda. Valores acumulados. (Escenario 5).                                                                                                                              | 411 |
| Gráfica 16-12 Productos desechados controladamente para los distintos patrones de demanda. Valores acumulados. (Escenario 5).                                                                                                                           | 411 |
| Gráfica 16-13 Productos usados vendidos en mercados secundarios para los distintos patrones de demanda. Valores acumulados. (Escenario 5).                                                                                                              | 412 |
| Gráfica 16-14 Materiales liquidados en mercados secundarios para los distintos patrones de demanda. Valores acumulados. (Escenario 5).                                                                                                                  | 412 |
| Gráfica 16-15 Productos liquidados en mercados secundarios para los distintos patrones de demanda. Valores acumulados. (Escenario 5).                                                                                                                   | 413 |
| Gráfica 16-16 VAN para los distintos patrones de demanda. (Escenario 5).                                                                                                                                                                                | 413 |
| Gráfica 16-17 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 5). | 414 |
| Gráfica 16-18 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 5). | 415 |
| Gráfica 16-19 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 5). | 415 |
| Gráfica 16-20 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de la tasa de descuento anual considerándola uniformemente distribuida entre el 3% y el 7% con 200 simulaciones. (Escenario 5). | 416 |
| Gráfica 16-21 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).          | 417 |
| Gráfica 16-22 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).          | 417 |
| Gráfica 16-23 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).          | 418 |
| Gráfica 16-24 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).          | 418 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfica 16-25 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre 5 y 25% con 200 simulaciones. (Escenario 5).....                                                      | 419 |
| Gráfica 16-26 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre 5 y 25% con 200 simulaciones. (Escenario 5).....                                                      | 420 |
| Gráfica 16-27 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre 5 y 25% con 200 simulaciones. (Escenario 5).....                                                      | 420 |
| Gráfica 16-28 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del Porcentaje de error considerándolo uniformemente distribuido entre 5 y 25% con 200 simulaciones. (Escenario 5).....                                                      | 421 |
| Gráfica 16-29 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos considerándolo uniformemente distribuido entre 75 y 95% con 200 simulaciones. (Escenario 5).....                               | 422 |
| Gráfica 16-30 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos considerándolo uniformemente distribuido entre 75 y 95% con 200 simulaciones. (Escenario 5).....                               | 423 |
| Gráfica 16-31 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos considerándolo uniformemente distribuido entre 75 y 95% con 200 simulaciones. (Escenario 5).....                               | 423 |
| Gráfica 16-32 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos considerándolo uniformemente distribuido entre 75 y 95% con 200 simulaciones. (Escenario 5).....                               | 424 |
| Gráfica 16-33 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de los tiempos de producción, inspección, reprocesado y desensamblado considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 5). .... | 425 |
| Gráfica 16-34 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de los tiempos de producción, inspección, reprocesado y desensamblado considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 5). .... | 426 |
| Gráfica 16-35 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de los tiempos de producción, inspección, reprocesado y desensamblado considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 5). .... | 426 |
| Gráfica 16-36 Análisis de sensibilidad del VAN mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de los tiempos de producción, inspección, reprocesado y desensamblado considerándolos uniformemente distribuidos entre 2 y 12 días con 200 simulaciones. (Escenario 5). .... | 427 |
| Gráfica 16-37 Análisis de sensibilidad de los Productos incontroladamente desechados mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de Tiempo                                                                                                                              |     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).....                                                                                                                                                                         | 428 |
| Gráfica 16-38 Análisis de sensibilidad de los Productos incontroladamente desechados mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5)..... | 428 |
| Gráfica 16-39 Análisis de sensibilidad de los Productos incontroladamente desechados mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5)..... | 429 |
| Gráfica 16-40 Análisis de sensibilidad de los Productos incontroladamente desechados mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5)..... | 429 |
| Gráfica 16-41 Análisis de sensibilidad de los Productos desechados controladamente mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).....   | 430 |
| Gráfica 16-42 Análisis de sensibilidad de los Productos desechados controladamente mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).....   | 430 |
| Gráfica 16-43 Análisis de sensibilidad de los Productos desechados controladamente mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).....   | 431 |
| Gráfica 16-44 Análisis de sensibilidad de los Productos desechados controladamente mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).....   | 431 |
| Gráfica 16-45 Análisis de sensibilidad de los Materiales a vertedero controlado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 1. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).....      | 432 |
| Gráfica 16-46 Análisis de sensibilidad de los Materiales a vertedero controlado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 2. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).....      | 432 |
| Gráfica 16-47 Análisis de sensibilidad de los Materiales a vertedero controlado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 3. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).....      | 433 |
| Gráfica 16-48 Análisis de sensibilidad de los Materiales a vertedero controlado mediante simulación de Montecarlo para el patrón de demanda 4. Variación de Tiempo de residencia considerándolo uniformemente distribuido entre 3 y 8 años con 200 simulaciones. (Escenario 5).....      | 433 |

|                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfica 17-1 Valor del VAN con respecto a la variable Escenario. ....                                                                        | 438 |
| Gráfica 17-2 Valor del VAN con respecto a la variable Patrón. ....                                                                           | 438 |
| Gráfica 17-3 Valor del VAN con respecto a la variable Escenario con variación del<br>Porcentaje de desensamblados sin defectos. ....         | 440 |
| Gráfica 17-4 Valor del VAN con respecto a la variable Patrón de demanda con<br>variación del Porcentaje de desensamblados sin defectos. .... | 440 |
| Gráfica 17-5 Valor del VAN con respecto a la variable Porcentaje de desensamblados<br>sin defectos. ....                                     | 441 |
| Gráfica 17-6 Valor del VAN con respecto a la variable Escenario cuando se varía el<br>Porcentaje de Error. ....                              | 442 |
| Gráfica 17-7 Valor del VAN con respecto a la variable Patrón de demanda cuando se<br>varía el Porcentaje de Error. ....                      | 443 |
| Gráfica 17-8 Valor del VAN con respecto a la variable Porcentaje de Error. ....                                                              | 443 |
| Gráfica 17-9 Valor del VAN con respecto a la variable Escenario cuando se varía la<br>Tasa impuesta por la legislación. ....                 | 445 |
| Gráfica 17-10 Valor del VAN con respecto a la variable Patrón de demanda cuando se<br>varía la Tasa impuesta por la legislación. ....        | 445 |
| Gráfica 17-11 Valor del VAN con respecto a la Tasa impuesta por la legislación. ....                                                         | 446 |
| Gráfica 17-12 Valor del VAN con respecto a la variable Escenario cuando se varía el<br>Tiempo de residencia. ....                            | 448 |
| Gráfica 17-13 Valor del VAN con respecto a la variable Patrón de demanda cuando se<br>varía el Tiempo de residencia. ....                    | 449 |
| Gráfica 17-14 Valor del VAN con respecto a la variable Tiempo de residencia. ....                                                            | 449 |
| Gráfica 17-15 Valor del VAN con respecto a la variable Escenario cuando se varía la<br>Tasa de descuento del VAN. ....                       | 452 |
| Gráfica 17-16 Valor del VAN con respecto a la variable Patrón de demanda cuando se<br>varía la Tasa de descuento del VAN. ....               | 452 |
| Gráfica 17-17 Valor del VAN con respecto a la variable Patrón de demanda cuando se<br>varía la Tasa de descuento del VAN. ....               | 453 |

# DIAGRAMA CAUSAL DE LOS FLUJOS MATERIALES Y DE INFORMACIÓN



## DIAGRAMA CAUSAL DE LOS FLUJOS ECONÓMICOS

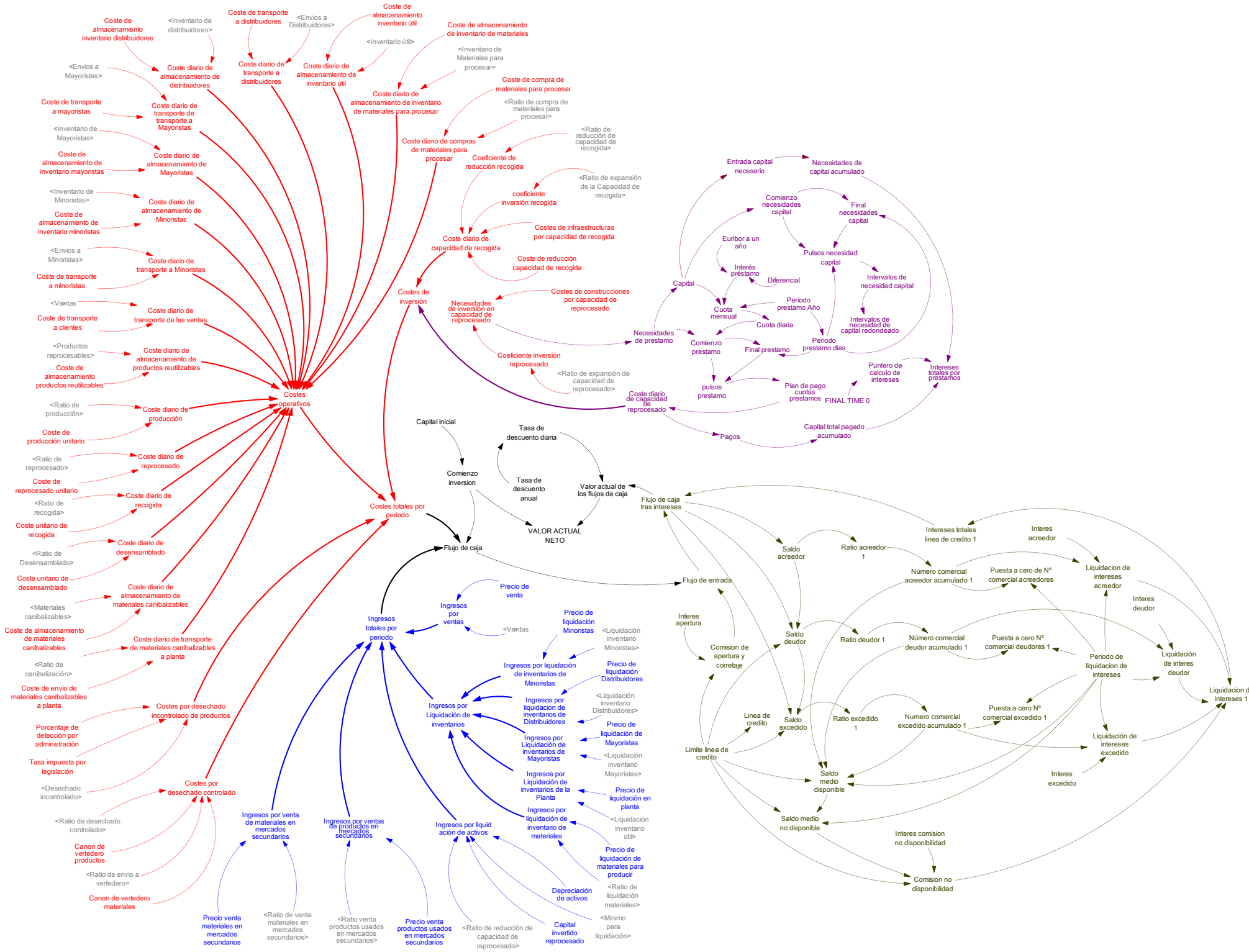
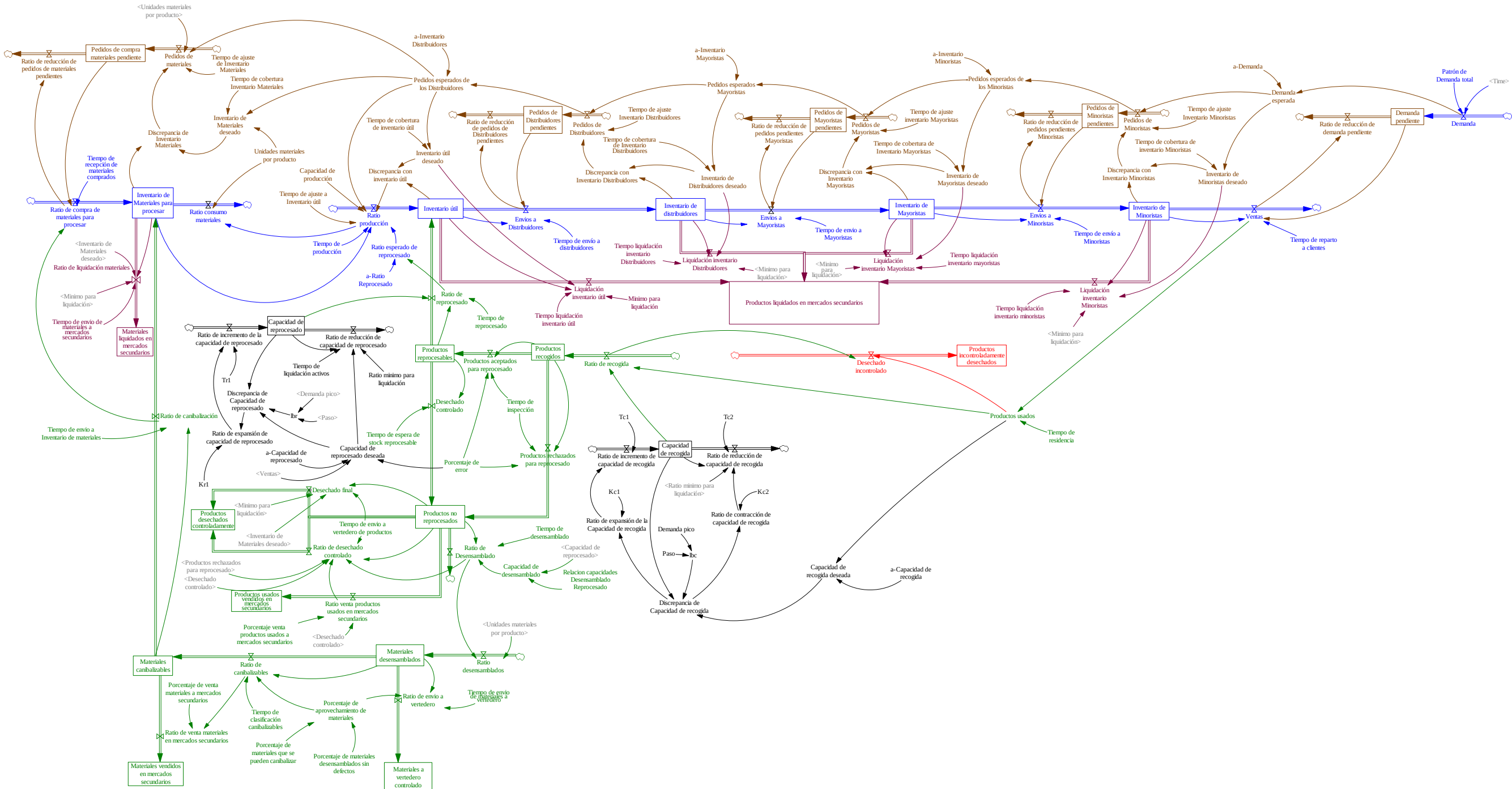


DIAGRAMA DE FÓRRESTER DE LOS FLUJOS MATERIALES Y DE INFORMACIÓN





# DIAGRAMA DE FÓRRESTER DE LOS FLUJOS ECONÓMICOS

