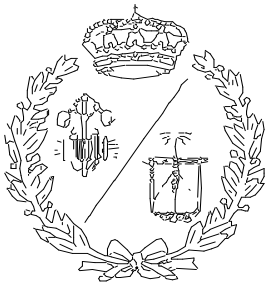
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Máster

DETECCIÓN DE SINERGIAS DE SIMBIOSIS INDUSTRIAL Y GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL ENTRE PYMES DE ÁREAS INDUSTRIALES MEDIANTE HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN

(Detection of industrial symbiosis´ synergies and environmental management among SMEs of industrial areas based on spatial analysis tools of the information)

Para acceder al Título de

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN INGENIERIA INDUSTRIAL

Autor: Roberto Álvarez Portas

Julio - 2014

TÍTULO	**DETECCIÓN DE SINERGIAS DE SIMBIOSIS INDUSTRIAL Y GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL ENTRE PYMES DE ÁREAS INDUSTRIALES MEDIANTE HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN**		
AUTOR	**Roberto Álvarez Portas**		
DIRECTOR / PONENTE	**María del Carmen Ruiz Puente**		
TITULACIÓN	*MÁSTER INVESTIGACIÓN INGENIERÍA INDUSTRIAL*	FECHA	Julio 2014

PALABRAS CLAVE

Ecología industrial (EI), simbiosis industrial (SI), tecnologías de la información y de la comunicación (TIC), sistemas de información geográfica (SIG).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El marco legal actual en materia de gestión de residuos se rige por la Directiva Europea 98/2008/CE y la Ley 22/2011 en las cuales se marcan unos objetivos principales basados en la prevención de la generación de residuos y en establecer un régimen jurídico general en la producción y gestión de los mismos. Aunque ciertos indicadores marcan una ligera tendencia hacia la desmaterialización, no son concluyentes a la hora de determinar si se están alcanzando los objetivos interanuales establecidos. Teorías como la Ecología Industrial (EI) y las herramientas basadas en ella pueden cubrir esta carencia a la hora de mejorar planes económicos y actividades industriales. Las áreas industriales clásicas se han caracterizado tradicionalmente por ubicar en una zona geográfica delimitada, a grupos de industrias cuyas actividades económicas se desarrollan de una manera individualizada. Esta teoría lo que pretende es realizar un profundo cambio desde un modelo lineal hacia un modelo de ciclo cerrado, semejante a los flujos cíclicos de los ecosistemas naturales. Es importante a la hora de cumplir con los objetivos planteados en la normativa europea y nacional que sean los propios empresarios los que se involucren en la gestión de sus residuos y vean líneas de negocio en el aprovechamiento y reutilización de los mismos. Por ello se plantea la necesidad de crear metodologías y herramientas que puedan facilitar la creación de enlaces entre los diferentes agentes económicos e industriales, para obtener una mayor eficiencia en el uso de los recursos a nivel local y nacional.

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

El **objetivo principal** de este trabajo es presentar una herramienta de gestión medioambiental, basada en la EI y las tecnologías de la información (TIC), que sirva para un mejor uso de los recursos y que pueda dar apoyo en la toma de decisiones sobre planificación industrial y territorial.
Para ello se busca crear un modelo dirigido a la búsqueda de sinergias que favorezcan el establecimiento de redes de intercambio en áreas industriales ya existentes, reduciendo las corrientes residuales y alcanzando mejoras económicas. Esta herramienta se apoya en una base de datos de sinergias de ecología industrial, potente y actualizable, integrando la componente espacial que es capaz de referenciar datos normales a datos geográficos. La puesta en marcha de nuevas estrategias de gestión y el diseño de herramientas que busquen llegar a la creación de redes de producción, transporte, reutilización y reciclaje de residuos, resultan ser la clave para conseguir los objetivos marcados.

A nivel de diseño se buscará una estructura basada en lenguajes de código abierto y que presente un carácter de universalidad, es decir, libre, accesible para todos los usuarios y que garantice la participación de múltiples agentes o entes simultáneamente. Etapas en el proceso metodológico:

1. Revisión de la literatura existente sobre EI, SI y TIC referentes a la detección de sinergias.
2. Revisión de la información recogida en el proyecto "*Bases para el desarrollo de proyectos de simbiosis industrial en el municipio de Torrelavega*".
3. Creación de la base de datos.
4. Creación de la interfaz de usuario.
5. Descarga de la información en servidores de mapas.

CONCLUSIONES / PRESUPUESTO

A partir del conocimiento adquirido del sector industrial en la fase de revisión y tratamiento de la información se ha conseguido diseñar una herramienta acorde a los objetivos principales del proyecto, la cual se ha automatizado y validado satisfactoriamente.
Se ha conseguido que la herramienta detecte tanto potenciales simbiosis industriales como empresas que generan los mismos residuos y que esa información se pueda visualizar de forma gráfica y sencilla. Su diseño da respuesta a los objetivos de universalidad y accesibilidad, presentando un carácter modular y ampliable.
Otro de los objetivos estaba enfocado a conocer la influencia o aportación de los sistemas de información geográfica en el marco de la Ecología Industrial y más en concreto en el análisis de las simbiosis industriales y gestión medioambiental. Concluyendo que son herramientas que permiten gestionar un gran volumen de información de manera ágil y sencilla, aportando nueva información de carácter geográfico como puede ser la localización de empresas y servicios comunes; optimización de distancias y rutas; y apoyo para la gestión del suelo y de otras variables ambientales, como los residuos entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

Lowe, E.A. and Evans, L.K. (1995). Industrial ecology and industrial ecosystems. Journal of Cleaner Production, 3: 47-53.

Frosch, R. and Gallopoulos, N. (1989). Strategies for manufacturing. Scientific American, 261 (3): 144–152.

Erkman, S. (2003). Perspectives on industrial ecology. In Bourg, D. and Erkman, S. (eds.) Perspectives on Industrial Ecology. Greenleaf Publishing Limited, Sheffield, UK.

Hatefipour, S. (2012). Facilitation of Industrial Symbiosis Development in a Swedish Region. Tesis Doctoral Linköping Sweden. Department of Management and Engineering.

Contenido

1._ INTRODUCCIÓN. 5

1.1._ CONTEXTO. 5

1.2._ JUSTIFICACIÓN. 13

1.3._ OBJETIVOS. 18

2._ ESTADO DEL ARTE. 20

2.1._ INTRODUCCIÓN. 20

2.2._ ECOLOGÍA INDUSTRIAL Y SIMBIOSIS INDUSTRIAL. 21

2.2.1._ ANTECEDENTES. 21

2.2.2._ FUNDAMENTOS. 24

2.3._ LA VARIABLE GEOGRÁFICA EN LA VIABILIDAD DE SINERGIAS DE SIMBIOSIS INDUSTRIAL. 33

2.4._ SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG). 36

2.4.1._ MODELOS DE DATOS. 37

2.4.1.1._ MODELO VECTORIAL. 38

2.4.1.2._ MODELO RÁSTER. 39

2.4.1.3._ VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE AMBOS MODELOS. 40

2.4.2._ REFERENCIAS GEOGRÁFICAS. 41

2.4.2.1._ SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICO. 43

2.4.2.2._ PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS. 45

2.4.2.3._ SISTEMA UTM (UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR). 47

2.4.3._ SOFTWARE SIG. 47

2.5._ TIC-SIG APLICADOS A LA DETECCIÓN DE SI. 51

2.5.1._THE FAST TOOL. (FACILITY SYNERGY TOOL). 53

2.5.2._ THE MATCHMAKER. 57
2.5.3._ ISIS. (INDUSTRY AND INTER-SECTORIAL SYNERGIES)..... 59
2.5.4._ PRESTEO. 61
2.5.5._ A WEB-GIS TOOL FOR INDUSTRIAL SIMBIOSIS. (MASSARD Y ERKMAN). 63
2.6._ CONCLUSIONES Y APORTACIÓN PROPIA..... 65

3._ METODOLOGÍA. 71

3.1._ INTRODUCCIÓN. 71

3.2._ ETAPAS DENTRO DEL MARCO METODOLÓGICO. 74

3.2.1._ Revisión de la literatura existente sobre EI, SI y TIC referentes a la detección de sinergias. 74
3.2.2._ Revisión de la información recogida en el proyecto "*Bases para el desarrollo de proyectos de simbiosis industrial en el municipio de Torrelavega*". 75
3.2.3._ Creación de la base de datos. 75
3.2.4._ Creación de la interfaz de usuario. 84
3.2.5._ Descarga de la información en servidores de mapas. 86

4._ VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA. 89

5._ ANÁLISIS DE RESULTADOS. 94

6._ CONCLUSIÓN..... 104

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 108

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tasa de generación de residuos industriales totales en España y Cantabria [3]... 6
Figura 2. Generación de residuos industriales no peligrosos en Cantabria [4]. 7
Figura 3. Generación de residuos industriales peligrosos en Cantabria [4]. 9
Figura 4. Ecoeficiencia en la generación de Residuos Peligrosos [4]. 10
Figura 5 . Esquema seguido en la redacción del proyecto [fuente propia]. 20
Figura 6. Pirámide hacia la sustentabilidad (Modificada de Basu y Dirk, 2006) [13]. 22
Figura 7. Ecosistema en equilibrio incompleto [15]. 25
Figura 8. Ecosistema en equilibrio completo [15]. 25
Figura 9. Organigrama ecosistema industrial [13]..... 27
Figura 10. SI en Kalundborg [13]. 31
Figura 11. Modelo vectorial [19]. 38
Figura 12. Modelo ráster (izda.) y almacenaje del atributo en el sistema ráster (dcha.) [19] 39
Figura 13. Geoide y elipsoide de revolución (izq), coordenadas geodésicas elipsoidales (φ, λ, h) (dcha) [22]..... 41
Figura 14. Proyección cilíndrica [24]..... 45
Figura 15. Proyección cónica [24]. 46
Figura 16. Proyección plana polar [24]. 46
Figura 17. Coordenadas UTM [22]..... 47
Figura 18. Esquema de un perfil de actividad [31]. 54
Figura 19. Diagrama de flujos entre empresas en un área localizada [31]. 56
Figura 20. Figura en la que se muestra parte de la interfaz [30]. 57
Figura 21.Interfaz de usuario [32]. 58
Figura 22. Demo del programa PRESTEO ©..... 63
Figura 23. Integración de varias tecnologías TIC para crear nuestra aplicación [Fuente propia]. 72
Figura 24. Esquema de las diferentes etapas a desarrollar dentro del marco metodológico [Fuente propia]. 74
Figura 25. Campos de latitud y longitud en la base de datos [Fuente propia] 78
Figura 26. Visualización de los campos encriptados [Fuente propia]. 79
Figura 27. Niveles de seguridad [Fuente propia]..... 79
Figura 28. Clasificación materias primas [Fuente propia]. 80
Figura 29. Opción de añadir nuevas materias primas [Fuente propia]. 81
Figura 30. Clasificación de residuos [Fuente propia]. 81
Figura 31. Opción de añadir nuevos residuo [Fuente propia]. 82
Figura 32. Tabla de simbiosis [Fuente propia]. 83
Figura 33. Posibilidad de incorporar nuevas relaciones de simbiosis [Fuente propia]..... 83
Figura 34. Esquema de procesamiento de páginas dinámicas [44]. 85
Figura 35. En el siguiente ejemplo se muestra el proceso de consulta de base de datos y de devolución de los datos al navegador [44]. 86
Figura 36. En el siguiente ejemplo se muestra el proceso de consulta de base de datos y de devolución de los datos al navegador [44]. 88
Figura 37. Esquema metodologías de validación [Fuente Propia]. 90
Figura 38. Resumen de todos los datos introducidos en la base de datos [Fuente Propia]. 92

Figura 39. Detección de simbiosis [Fuente propia]. 93
Figura 40. Fases de estudio en el análisis de sinergias [29]..... 94
Figura 41. Materias Primas y residuos introducidos en el caso de estudio [Fuente Propia]. 95
Figura 42. Ejemplo de detección de sinergias [Fuente Propia]. 97
Figura 43. La empresa es generadora por si misma de potenciales sinergias [Elaboración propia]. 98
Figura 44. Mapa de sinergias [Elaboración propia]. 99
Figura 45. Empresas que generan el mismo residuo [Elaboración propia]. 100
Figura 46. Ubicación de las empresas para análisis geográfico [Elaboración propia]..... 101
Figura 47. Cálculo de la ruta entre la empresa A y la empresa B [Elaboración propia].. 101
Figura 48. Zona de influencia en torno a las empresas [Elaboración propia]. 102
Figura 49. Empresas que generan el mismo residuo [Elaboración propia]. 103
Figura 50. Factores que influyen en la toma de decisiones [29]. 106
Figura 51. Etapas en las que interviene la herramienta. 107

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Principales herramientas informáticas medioambientales [10]. 16
Tabla 2. Ejemplos de implantación de EI en el mundo [13]. 28
Tabla 3. Diferentes escenarios del uso de SIG [17]. 35
Tabla 4. Herramientas SIG open source (código abierto) [21]. 48
Tabla 5. Aspectos más relevantes en cada una de las herramientas analizadas [27] 51
Tabla 6. Estado actual de diferentes herramientas ICT [10]. 66

1._ INTRODUCCIÓN.

1.1._ CONTEXTO.

El marco legal actual en materia de gestión de residuos se rige por la Directiva Europea 98/2008/CE [1] y la Ley 22/2011 [2], su objetivo principal es prevenir la producción de residuos y establecer un régimen jurídico general en la producción y gestión de los mismos, "jerarquía de residuos", la cual consiste en un orden ideal de las operaciones que deben llevarse a cabo con los residuos, fomentando por este orden, *su reducción, reutilización, reciclaje y otras formas de valorización*. El sector industrial generó en España 50,5 millones de toneladas de residuos durante el año 2010, de esta cifra, 1,4 millones se clasificaron como residuos peligrosos [3]. En virtud de la normativa comunitaria, a nivel regional en Cantabria, nuestra área de estudio, se generaron cerca de 500000 toneladas, de las cuales un 10% (50125 toneladas) pertenecían a residuos peligrosos (Ver figura 1). Como reflejan los datos estadísticos tanto a nivel nacional como a nivel regional se ha producido un aumento del 25% en la tasa de generación de residuos en el último año registrado (2010) [3], por lo tanto a pesar de los esfuerzos realizados en materia de gestión no se está siguiendo una buena línea para alcanzar los objetivos principales de generación de residuos de la Directiva Europea [1]. Que se podrían resumir en los siguientes:

"El primer objetivo de cualquier política en materia de residuos debe ser reducir al mínimo los efectos negativos de la generación y la gestión de los residuos para la salud humana y el medio ambiente. La política en materia de residuos debe tener también por objeto reducir el uso de recursos y favorecer la aplicación práctica de la jerarquía de residuos". [La Directiva Europea 98/2008/CE, pag.312/4, párrafo (6)].

"En su Resolución de 24 de febrero de 1997 sobre una estrategia comunitaria de gestión de residuos, el Consejo confirmó que la prevención de residuos debe constituir la primera prioridad de la gestión de residuos, y que deben preferirse la reutilización y el reciclado de material a la valorización energética de los residuos, en la medida en que son las mejores opciones ecológicas". [La Directiva Europea 98/2008/CE, pag.312/4 párrafo (7)].

"Las administraciones públicas, en sus respectivos ámbitos competenciales, aprobarán antes del 12 de diciembre de 2013, programas de prevención de residuos en los que se establecerán los objetivos de prevención, de reducción de la cantidad de residuos generados y de reducción de la cantidad de sustancias peligrosas o contaminantes, se describirán las medidas de prevención existentes y se evaluará la utilidad de los ejemplos de medidas que se indican en el anexo IV u otras medidas adecuadas. **Estas medidas se encaminarán a lograr la reducción del peso de los residuos producidos en 2020 en un 10% respecto a los generados en 2010**". [Ley 22/2011, Artículo 15, Programas de prevención de residuos].

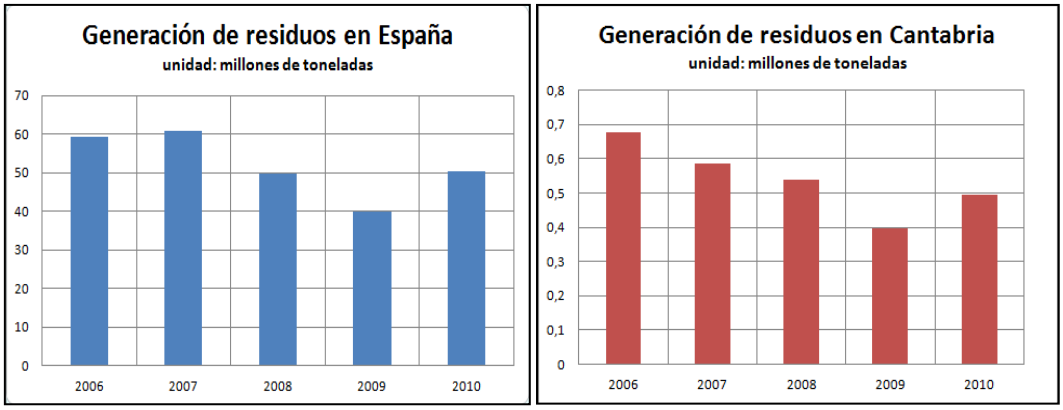


Figura 1. Tasa de generación de residuos industriales totales en España y Cantabria [3]

Residuos no peligrosos.

Centrándonos en la tasa de generación de residuos industriales no peligrosos (RINP) de la Comunidad de Cantabria, evaluada en base a la cantidad de residuos no peligrosos destinados a vertedero que se estima son de origen industrial, así como aquellas fracciones que son actualmente gestionadas en una planta de reciclaje, presenta una tendencia actual de crecimiento que puede suponer un problema de gestión a largo plazo. En 2007 se produce una disminución de los residuos no peligrosos identificados, volviendo a aumentar drásticamente en 2008, año en el cual se obtiene el máximo del periodo estudiado, 405.326 toneladas. En el año 2009 vuelve a disminuir la cantidad identificada, pero a partir del cual la tendencia va en aumento hasta el año 2011, en el cual se generaron 345.520 toneladas. Como dato positivo decir que el objetivo específico de reducción plurianual del ratio de generación de RINP respecto a la unidad de producto, bien o servicio ha disminuido. La tasa de generación de RINP frente al Valor Añadido Bruto del sector industrial ha disminuido desde el año 2008, obteniendo en el año 2011 un valor de 0,16 ton/miles de Euros (Ver figura 2) [4].

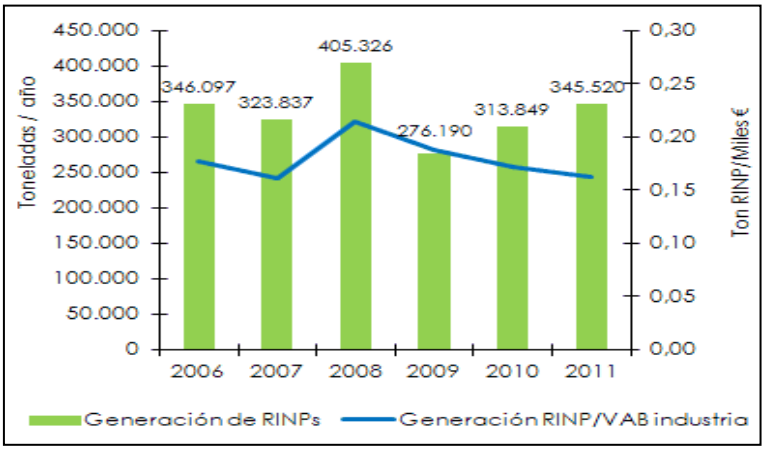


Figura 2. Generación de residuos industriales no peligrosos en Cantabria [4].

No siempre es fácil desde el punto de vista técnico y económico la adopción de tecnologías que permitan independizar la actividad productiva de la generación de residuos, ya que dicha generación depende en gran medida de la evolución de los mercados y de los parámetros macroeconómicos asociados a la actividad industrial [4].

Residuos peligrosos.

En cuanto a la generación de residuos peligrosos se están consiguiendo algunos avances positivos pero insuficientes para alcanzar los objetivos. La evolución seguida por las cantidades de Residuos Peligrosos gestionadas en los últimos años es irregular. Tras la disminución significativa de residuos peligrosos gestionados en el año 2002, se produce un gran aumento en el 2003, debido fundamentalmente a la recogida de residuos procedentes del derrame del petrolero Prestige. De nuevo en 2004 se produce un gran incremento de la cantidad de residuos peligrosos gestionada, llegando a superarse las 85.000 toneladas, y ascendiendo en 2005 a 122.800 toneladas, un 169% superior a la de 2002. Este aumento ha sido provocado por los residuos del Sector 2:"*industrial, de construcción y minería"*, al que pertenecen el 92,5% de los residuos gestionados en 2005, y que en parte están formados por residuos gestionados durante este año, pero que pertenecen a la generación histórica de las empresas que los habían mantenido almacenados hasta ese año. En los siguientes años la cantidad de residuos gestionada es mucho menor, en torno a las 85.000 toneladas, alcanzándose en el año 2009 el valor de 84.875 toneladas. En el año 2010 la cantidad de Residuos Peligrosos gestionada ha disminuido ligeramente con respecto al año anterior, siendo la cantidad gestionada de 83.295 toneladas (Ver figura 3). Para volver a disminuir en el año 2011 a valores inferiores a los del año 2009, siendo la cantidad generada de 57.037 toneladas [4].

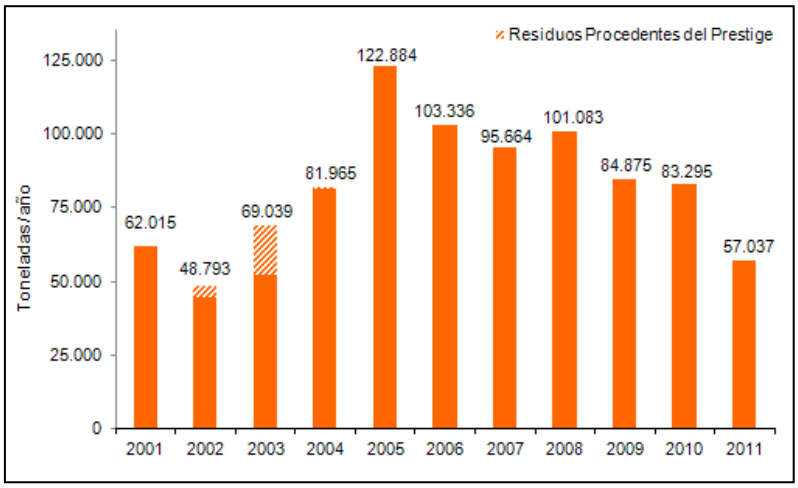


Figura 3. Generación de residuos industriales peligrosos en Cantabria [4].

Ahora mismo existen datos y estudios elaborados y acabados hasta el año 2008-2009. En Cantabria la generación de residuos peligrosos está originada en más de un 99,8% por las empresas, siendo el 0,2% restante asociado a los hogares. De éstos más de un 85% se asocia a la actividad industrial, seguida por el sector servicios al que pertenece el 13% del total de los residuos peligrosos generados y los sectores de la construcción y energía al que se les asocia porcentajes cercanos al 1% [4]. Existe un indicador creado por el punto focal de residuos denominado *ecoeficiencia de la generación de residuos peligrosos* que se define como los euros producidos por cada tonelada de residuos peligrosos generados, calculado a través del valor añadido bruto (VAB) (Ver Figura 4) [4].

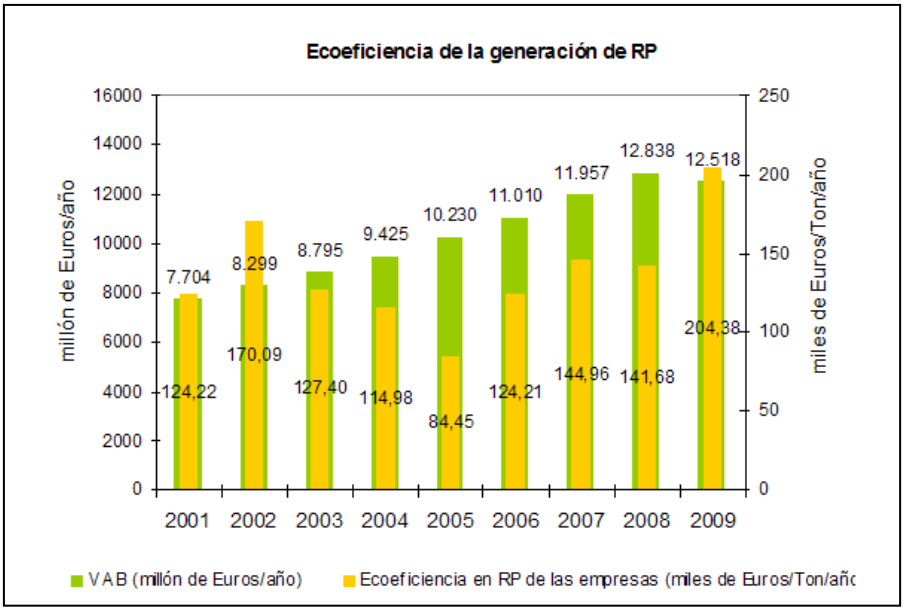


Figura 4. Ecoeficiencia en la generación de Residuos Peligrosos [4].

El valor añadido bruto mide el valor añadido generado por el conjunto de un área económica, que representa la diferencia entre el importe de las ventas de la empresa y las compras hechas a otras empresas sin incluir la depreciación del capital fijo durante el periodo.

La información más importante que se puede extraer de la gráfica anterior es que en los últimos años el VAB aumenta, (es decir las ventas son mayores, aumento de la producción), y el indicador de miles de euros producidos por tonelada de residuos peligrosos asciende también, es decir, que para el mismo valor de la producción se genera menor cantidad de residuos peligrosos, siendo un paso en el objetivo de separar producción industrial con generación de residuos.

Para poder ayudar a conseguir los objetivos propuestos dentro del marco legal Europeo y nacional existe una necesidad de crear metodologías y herramientas que puedan facilitar la creación de enlaces entre los diferentes agentes económicos e industriales,

para obtener una mayor eficiencia en el uso de los recursos a nivel local y nacional. Aunque los indicadores marcan una ligera tendencia hacia la desmaterialización, no son concluyentes en el logro de los objetivos interanuales establecidos. Ello se debe a la escasa información de calidad que existe en el inventario de los flujos, problema que están intentando solucionar las comunidades autónomas en las revisiones que se están llevando a cabo de los planes de gestión medioambiental obligados por la Directiva Europea. Resulta insuficiente el trabajo que se hace para optimizar los flujos de materiales dentro de áreas urbanas e industriales en países desarrollados como España. La Ecología Industrial (EI) y las herramientas basadas en ella pueden cubrir esta carencia a la hora de mejorar planes económicos y actividades industriales. Las áreas industriales clásicas se han caracterizado tradicionalmente por ubicar en una zona geográfica delimitada, a grupos de industrias cuyas actividades económicas se desarrollan de una manera individualizada, ahora lo que se pretende es realizar un profundo cambio desde un modelo lineal hacia un modelo de ciclo cerrado, semejante a los flujos cíclicos de los ecosistemas naturales [5].

Es importante a la hora de cumplir con los objetivos planteados en la normativa europea y nacional que sean los propios empresarios los que se involucren en la gestión de sus residuos y vean líneas de negocio en el aprovechamiento y reutilización de los mismos. Por ello, es necesario conocer e incorporar sus opiniones y ayudarles a participar en la implantación de nuevos sistemas de gestión medioambiental.

Se presenta un resumen cualitativo y cuantitativo de los objetivos que persigue la Directiva Europea [1]:

- A finales de 2011, un informe provisional sobre la evolución de la generación de residuos y del alcance de la prevención de residuos, incluyendo la definición de una política de diseño ecológico de los productos. [Artículo 9. Prevención de residuos].
- A finales de 2011, la formulación de un plan de acción para otras medidas de apoyo a escala europea encaminadas especialmente a modificar los actuales modelos de consumo. [Artículo 9. Prevención de residuos].
- A finales de 2014, el establecimiento de unos objetivos de prevención de residuos y de desvinculación para 2020, basados en las mejores prácticas disponibles, incluida en caso necesario la revisión de los indicadores previstos en el artículo 29, apartado 4. [Artículo 9. Prevención de residuos].
- Los residuos se recogerán por separado si resulta viable técnica, medioambiental y económicamente, y no se mezclarán con otros residuos u otros materiales con propiedades diferentes. [Artículo 10. Valorización].
- Con objeto de cumplir los objetivos de la presente Directiva y de avanzar hacia una sociedad europea del reciclado con un alto nivel de eficiencia de los recursos, los Estados miembros deberán adoptar las medidas necesarias para garantizar que se logran los siguientes objetivos:

  a) antes de 2020, deberá aumentarse como mínimo hasta un 50% global de su peso la preparación para la reutilización y el reciclado de residuos de materiales tales como, al menos, el papel, los metales, el plástico y el vidrio de los residuos domésticos y posiblemente de otros orígenes en la medida en que estos flujos de residuos sean similares a los residuos domésticos. [Artículo 11. Reutilización y reciclado].

b) antes de 2020, deberá aumentarse hasta un mínimo del 70% de su peso la preparación para la reutilización, el reciclado y otra valorización de materiales, incluidas las operaciones de relleno que utilicen residuos como sucedáneos de otros materiales, de los residuos no peligrosos procedentes de la construcción y de las demoliciones, con exclusión de los materiales presentes de modo natural definidos en la categoría 17 05 04 de la lista de residuos. [Artículo 11. Reutilización y reciclado].

Como muy tarde el 31 de diciembre de 2014, la Comisión examinará las medidas y los objetivos contemplados en el apartado 2 con el fin de reforzar, en caso necesario, los objetivos y examinar el establecimiento de objetivos para otros flujos de residuos. [Artículo 11. Reutilización y reciclado].

Cada tres años, con arreglo al artículo 37, los Estados miembros informarán a la Comisión sobre su situación en lo que se refiere al logro de los objetivos. (La Directiva Europea 98/2008/CE). [Artículo 11. Reutilización y reciclado].

1.2._ JUSTIFICACIÓN.

Sobre este marco de trabajo se planteó el proyecto "*Bases para el desarrollo de proyectos de Simbiosis Industrial en el municipio de Torrelavega*" [6], cuyo objetivo era la detección de oportunidades de cooperación y Simbiosis Industrial (SI) entre Pymes del área de estudio. El municipio de estudio posee una alta actividad industrial, y la idiosincrasia empresarial que predomina es de independencia y de escasa cooperación. A partir de un análisis de este tejido industrial se propusieron actividades de colaboración empresarial e implantación de estrategias de SI.

La EI plantea la búsqueda de interacciones entre la actividad industrial y su entorno ambiental y urbano, en las que los diversos procesos productivos son considerados elementos dependientes e interrelacionados. El objetivo principal es potenciar la simbiosis entre las actividades humanas ubicadas en un área determinada, mediante intercambio de materias y energía, el aprovechamiento del conocimiento localizado en diversas actividades y el desarrollo de instalaciones o de iniciativas compartidas [7].

La SI es una rama de la EI, que analiza el funcionamiento de los sistemas industriales a semejanza de los ecosistemas naturales. Las estrategias de la SI plantean solucionar las ineficiencias de las áreas industriales actuales mediante mecanismos de mutualización y sustitución en el consumo de recursos (materiales, agua, energía, financieros, logísticos, conocimiento e información) por parte de las actividades productivas. Se basa en la creación de actividades de colaboración entre las empresas, denominadas sinergias, haciendo que el óptimo global del conjunto sea mayor que la suma de los óptimos individuales de las industrias [8].

La gestión medioambiental y más aún, proyectos innovadores de SI sobre el que se basa este proyecto implican ciertas peculiaridades que lo hacen más complejo, y requieren en alguna etapa de su desarrollo el uso de tecnologías de la información y de la comunicación (TIC), que también denominaremos a lo largo del estudio herramientas informáticas, de ahí la necesidad de buscar, utilizar o crear la herramienta más eficaz que intente resolver el problema propuesto.

Una de las principales dificultades que se observa se encuentra en los datos de entrada:

- Muchos datos de fuentes diversas, en formatos diferentes.
- Presentan alta variabilidad espacial y temporal.
- Se necesitan modelos para integrarlos debido al grado de interrelación.

La definición más precisa de TIC podría ser la siguiente: el conjunto de recursos, procedimientos y técnicas usadas en el procesamiento, almacenamiento y transmisión de información.

Frank Boons en su artículo [9], hace referencia a Freeman que ya en 1992 establece que las herramientas medioambientales son un medio esencial para crear procesos productivos más eficientes, incrementar la calidad del producto y la desmaterialización, la creación de nuevas producciones de flujos de material y energía y nuevas prácticas de consumo y reciclaje.

Page y Gilty (1995), y más tarde Rautenstrauch y Patig (2001), referenciados por Ralf Isenmann y Konstantin Chernykh en su artículo [10], presentaron un grupo de 11 métodos y tecnologías que forman el conjunto de herramientas informáticas medioambientales que se pueden ver en la tabla 1.

Estas herramientas aplicadas al campo de la EI buscan como objetivo analizar procesos de información, dar apoyo a la gestión ambiental y desarrollar sistemas informáticos relacionados con el medio ambiente en el sentido más amplio [11].

CONJUNTO DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS MEDIOAMBIENTALES
Análisis de datos
Infografía y visualización
Teledetección
Sistemas de información geográfica (SIG)
Sistemas de bases de datos medioambientales
Lenguajes de marcas extensibles actuales, como XML que da soporte a bases de datos, siendo útil cuando varias aplicaciones se deben comunicar entre sí o integrar información
Modelización y simulación
Sistemas expertos basados en redes neuronales e inteligencia artificial
Interfaces de usuarios
Tecnologías de Internet
Sistemas ERP

Tabla 1: Principales herramientas informáticas medioambientales [10].

En concreto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han revelado como una herramienta óptima, capaz de integrar variables muy diferentes, ya sean discretas (toma valores dentro de un conjunto numerable, como por ejemplo, usos de suelo, vegetación, litología) o continuas, (toma un valor dentro de un intervalo predeterminado, como por ejemplo altura de una serie de personas, precipitación, temperatura, pendientes), reflejando su disposición espacial, así como realizar los cálculos necesarios para producir cartografía temática.

Sin embargo, no siempre estas tecnologías resuelven del todo el problema ya que presentan ciertas desventajas. En el caso de los SIG a menudo son elevados los costes que suponen adquirir el producto y transformar registros existentes en archivos digitales además de la necesidad de poseer equipos adecuados y actualizados. Por otra parte, son programas diseñados para usuarios expertos por lo que una empresa u organismo estatal tendría la dificultad de realizar consultas. Ello conlleva la pérdida de utilidad de la herramienta convirtiéndose en algo inútil tanto para autoridades como para empresas ajenas al sistema. Por ello, este proyecto expone el desarrollo de una metodología de gestión medioambiental basada en la creación de una aplicación informática que sirva de apoyo a la toma de decisiones a la hora de dar un mejor uso de los recursos naturales y una nueva visión de planificación territorial, abierto a todas la partes interesadas sin la limitación de un conocimiento previo.

Para ello, las preguntas de investigación que se formulan y se resuelven en este trabajo son:

- ¿Se pueden fusionar varias tecnologías de la Información (TIC) con el objetivo de crear una herramienta de gestión ambiental o simbiosis industrial?
- ¿Cómo crear una metodología o herramienta informática aplicable a un proyecto de gestión ambiental o simbiosis industrial en un área de estudio?
- ¿Qué tipo de ventajas da la incorporación de tecnologías SIG al análisis medioambiental?
- ¿Qué tipo de análisis se puede realizar al incorporar la componente espacial en este tipo de estudios?
- ¿Qué grado de accesibilidad presentan?

1.3._ OBJETIVOS.

En este apartado se presentan los objetivos principales y específicos del proyecto de investigación desarrollado.

El **objetivo principal** es presentar una herramienta de gestión medioambiental, que sirva para facilitar la detección de potenciales simbiosis industriales entre las empresas, ofrecer un mejor uso de los recursos y que pueda servir para dar apoyo en la toma de decisiones sobre planificación industrial y territorial.

Para ello se va a definir una metodología de integración entre la EI y las TIC, para analizar un ecosistema industrial y definir las pautas a la hora de elaborar un eficiente sistema de gestión de residuos.

En un ecosistema industrial se pretende que los núcleos de producción (industrias), estén interconectados de manera tal que los productos o subproductos de unas sirvan como materia prima a otras. Cada proceso debe verse como parte dependiente e interrelacionada de un todo mayor.

La puesta en marcha de nuevas estrategias de gestión y el diseño de herramientas que busquen llegar a la creación de redes de producción, transporte, reutilización y reciclaje de residuos, resultan ser la clave para conseguir los objetivos marcados.

En relación a estos aspectos, se pueden definir los **objetivos específicos** del proyecto:

- Enunciar una metodología basada en un modelo de sistema lineal secuencial, con el objetivo de documentar el proceso de desarrollo de la herramienta, y en donde se especifique el diseño, programación, análisis, e implementación de la aplicación.

- Se busca un diseño específico de la herramienta que siga los siguientes criterios
    - Utilización de software libres o de código abierto que cumplan con los estándares de la Open Geospatial Consortium (OGC) para la interoperabilidad y comunicación entre tecnologías de SIG.
    - Que pueda mantener como objetivo la *"universalidad"*, es decir, que proporcione un fácil acceso desde cualquier lugar y en cualquier momento, con una actualización inmediata y que sea capaz de describir diferentes escenarios independientemente del área industrial y de su zona geográfica, adaptándose a nuevas necesidades del entorno.
    - Diseño modular, que presente flexibilidad a la hora de acoplar nuevos módulos a la herramienta y que se haga de manera fácil sin presentar incompatibilidades.
- Validación de la herramienta buscando una metodología que garantice la calidad de la aplicación mediante verificación estática de código fuente y dinámica de funcionamiento a nivel de usuario.
- Evaluación de las posibilidades de análisis ofrecidas por las herramientas SIG en relación con la variable espacial y viabilidad de las sinergias de SI.

2._ ESTADO DEL ARTE.

2.1._ INTRODUCCIÓN.

Para alcanzar los objetivos marcados en el apartado anterior, es necesario realizar una revisión pormenorizada de los campos relacionados con nuestra investigación. La finalidad de este estado del arte es obtener información de calidad que nos ayude en nuestro proyecto y conocerlos estudios y trabajos que se han realizado hasta este momento, en nuestra área de estudio.

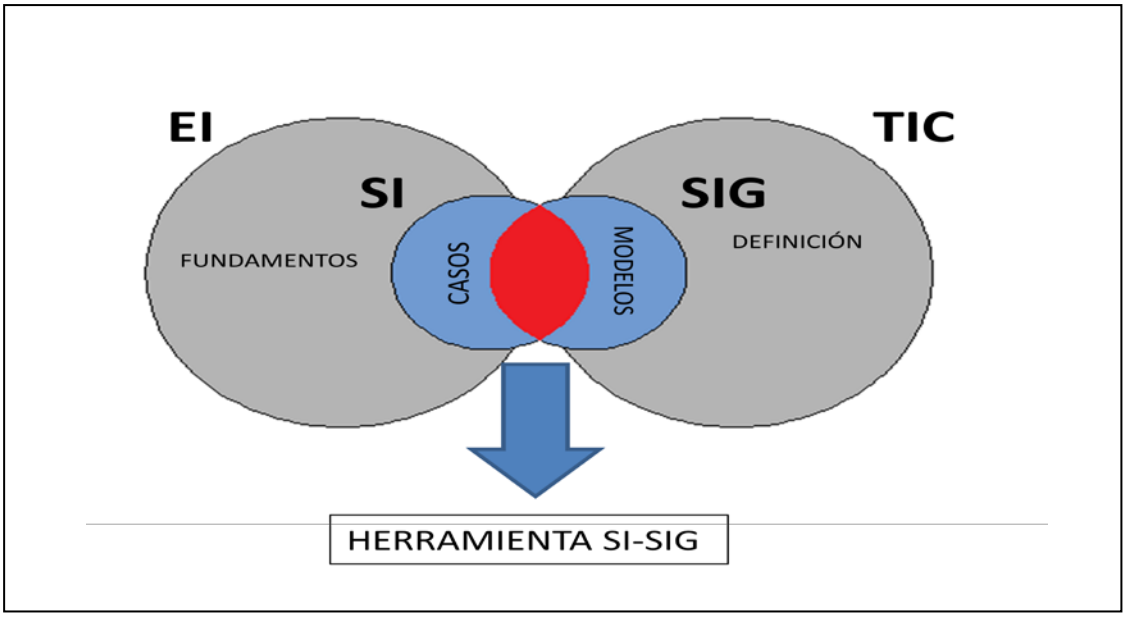


Figura 5 . Esquema seguido en la redacción del proyecto [fuente propia].

En la anterior figura pueden verse las áreas que se han estudiado a la hora de analizar el estado del arte. La primera área revisada se basa en el estudio de la EI, sus orígenes, su desarrollo, cuáles son sus bases teóricas, los principales proyectos y hacia donde evoluciona en el futuro, también se trata el concepto de SI como rama de conocimiento

que analiza el funcionamiento de los sistemas industriales a semejanza de los ecosistemas naturales.

La segunda área trata sobre las herramientas de la información y la comunicación aplicadas a la EI, destacando una de las más significativas como son los SIG.

Dentro de este campo, se ven por último las herramientas o programas que se han ido creando para la detección de sinergias en un área industrial, realizando una descripción de las mismas solamente de aquellas que cuenten con la información y credibilidad suficiente como para tratar de ellas.

2.2._ ECOLOGÍA INDUSTRIAL Y SIMBIOSIS INDUSTRIAL.

2.2.1._ ANTECEDENTES.

Llegado al punto de inflexión medioambiental en el que los indicadores eran cada vez más claros: mayor dificultad para obtener recursos, aumento del calentamiento global, explosión demográfica, limitaciones serias con la ubicación y capacidad de los vertederos, resultó determinante, para que en septiembre de 1989, la publicación científica americana *Scientific American*, en el artículo *Estrategias para la Producción*, utilizará por primera vez el término *Ecosistema Industrial* [12], que a la postre sentaría las bases para la definición del concepto de EI [13].

Anteriormente, durante la época de los 60´s y 70´s, se empezaron a incorporar nuevos conceptos de reciclaje, minimización de residuos, ecoeficiencia o los dos conceptos clave que fueron la base de la EI: *SI y Sinergia de Subproductos*, nacidos en los años 70´s, intentando dar respuesta a la pregunta cómo puede hacerse operacional el concepto de desarrollo sostenible de una manera económicamente factible. En este aspecto la EI representa un camino para proporcionar soluciones reales a la pregunta,

aunque no fue hasta la década de los 90´s en adelante, que el concepto de EI fue desarrollado ampliamente. En la figura 6 se puede ver la evolución de los diferentes conceptos que derivaron en la concepción de la EI y que marcan el desarrollo sostenible que se persigue [13].

Figura 6. Pirámide hacia la sustentabilidad (Modificada de Basu y Dirk, 2006) [13].

Fue en 2001 cuando se constituyó la Sociedad Internacional de Ecología Industrial (ISIE) y se celebró el primer congreso de EI.

La Sociedad Internacional de Ecología Industrial (ISIE) organiza cada dos años un Congreso Internacional de Ecología Industrial donde se reúnen los principales investigadores en EI a nivel mundial. La revista Journal of Industrial Ecology, fundada en 1997, reúne las principales investigaciones en torno a este tema.

En Catalunya se empezó a desarrollar esta temática en 1997, cuando se celebró en Barcelona el 1º Congreso Europeo de Ecología Industrial en la Feria de Ecomed-Pollutec; en 1999 se empezó a impartir esta disciplina dentro la asignatura Tecnología

del Medio Ambiente en la Escuela Superior de Ingeniería Técnica Industrial de Terrassa (ETSEIT), de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) y dentro del doctorado de Ciencias Ambientales de la UAB; en 1999, también, se constituyó la Red Temática de Ecología Industrial (XEI) que reúne profesionales relacionados con el tema provenientes de universidades, empresas y administraciones catalanas [13]. También en la Universidad de Cantabria dentro del máster de Investigación en Ingeniería Industrial se dan asignaturas relacionadas con la EI y la SI.

A nivel académico la EI se va implementando como un área importante dentro de los estudios de licenciatura, máster y doctorado. En Europa, existen másteres de EI en Holanda, en Noruega, en Italia y en Catalunya. Existen estudios de doctorado en Noruega y asignaturas de 2º ciclo y doctorado en Catalunya. En septiembre de 2007 se inició en la UPC un máster de sostenibilidad con especialidad en "Ecología Industrial e Innovación Tecnológica" [13].

Principales proyectos que se desarrollan en Catalunya [13]:

1) *Proyecto Cicle*, que aplica la EI a los sectores de curtido de pieles y papelería e intenta establecer una metodología para la aplicación de la EI a los sectores industriales.

2) *El proyecto europeo ECOSIND* (2004-2006), a través del cual se subvencionaron unos 20 subproyectos de EI en las regiones de Catalunya, Abruzzo y Toscana (Italia) y Peloponeso (Grecia),

3) *El proyecto MESVAL* creó una red de centros tecnológicos de diferentes sectores industriales, donde se valorizan los residuos de un sector y se utilizan como materia prima en otros sectores,

2.2.2._ FUNDAMENTOS.

Según Suren Erkman [14], la EI combina una estructura conceptual (teórica) con un objetivo práctico de sostenibilidad, y a pesar de no haber una definición estándar de EI, todos los autores coinciden en tres elementos clave en la perspectiva de la EI:

- Es una visión sistémica, exhaustiva e integrada de todos los componentes de la economía industrial y su relación con la biosfera.
- Enfatiza en la base biofísica de las actividades humanas. Los enfoques actuales consideran las cifras económicas en términos de unidades monetarias abstractas o flujos económicos.
- Se considera como una tecnología dinámica, como un elemento clave para obtener la transición desde el actual sistema industrial insostenible a un ecosistema industrial viable.

El mismo autor hace referencia a “metabolismo industrial” como la metodología base de la EI, es una metodología descriptiva y analítica basada en el principio de conservación de la masa. La EI apunta a una re-estructuración radical de todo el sistema industrial. Esta estrategia, según el autor [14], es conocida como “eco-restructuración” y puede ser descrita en cuatro pasos:

Paso 1: Diseño de una economía cuasi cíclica.

Paso 2: Minimizar las pérdidas del producto.

Paso 3: Incrementar los recursos de productividad.

Paso 4: Equilibrar la dieta industrial. (Reducir el uso de materias y sustancias que desequilibran la balanza).

Actualmente a pesar de los esfuerzos realizados en materia de legislación y gestión medioambiental, los ecosistemas industriales obtenidos resultan ser más eficientes que en épocas anteriores pero insostenibles a largo plazo, ya que todos los flujos van en el mismo sentido (Figura 7). Se intenta buscar un "*equilibrio imperfecto*" que con el tiempo agotará los recursos [15].

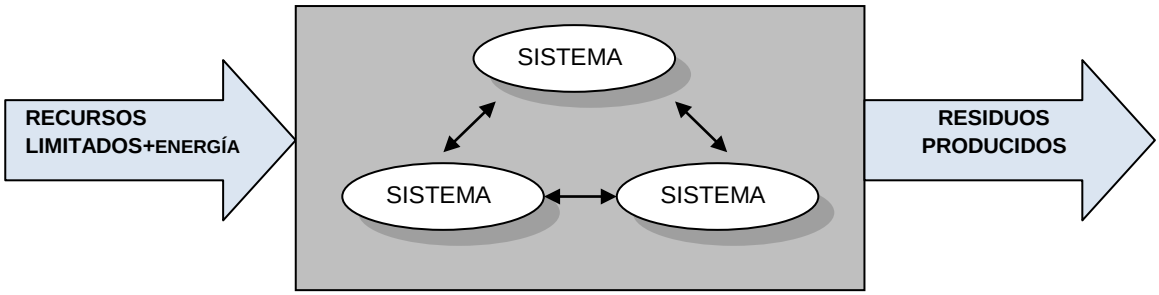


Figura 7. Ecosistema en equilibrio incompleto [15].

Por eso lo que se pretende obtener es un ecosistema en el que el equilibrio sea perfecto (Ver Figura 8), se basa en un ciclo cerrado de materia con un aporte de energía, en el cual la conexión entre los diferentes entes está tan bien conectada que no existe un flujo de materiales entre el sistema global y el exterior. Los recursos necesarios para la producción neta actual, provienen del resultado de procesos de transformación de residuos procedentes de otros procesos metabólicos que tuvieron como recursos a otros productores primarios anteriores a los actuales [15].

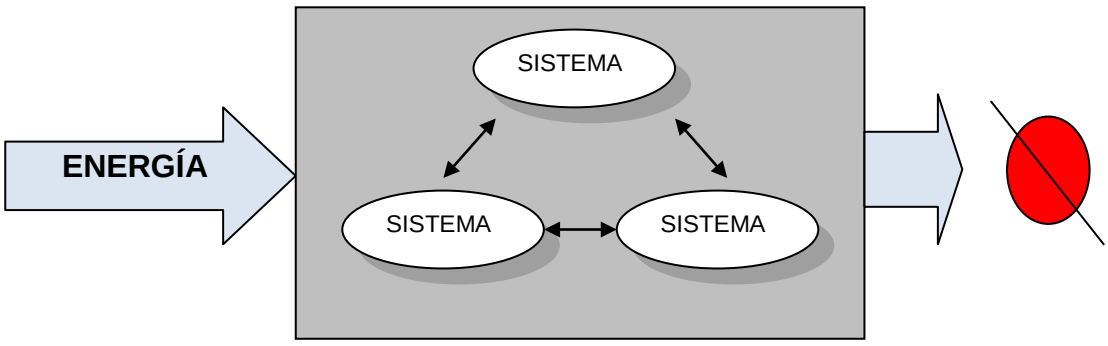


Figura 8. Ecosistema en equilibrio completo [15].

En los ecosistemas biológicos el cambio de un sistema a otro suele ser traumático, las especies que no consiguen adaptarse desaparecen. El hombre, en cambio, tiene ante sí la oportunidad de suavizar el proceso. El cambio de mentalidad necesario para ello ha de evitar las penalidades de la transición y también acelerar la llegada a la situación de equilibrio final, cambios evolutivos suaves que se adapten mejor al concepto de EI y que traten de estudiar la composición de las corrientes de residuos para identificar nuevas oportunidades de reciclaje [15].

Actualmente, se pueden encontrar muchas definiciones de EI como la que hace Cervantes [13], “temática interdisciplinaria que intenta asimilar el funcionamiento de los ecosistemas industriales al de los naturales, con una interrelación entre industrias, el medio social y natural que tienda a cerrar el ciclo de materia y a hacer eficientes los procesos internos”. T.E. Graedel y B.R. Allenby [7] hablan de la búsqueda de interacciones entre la actividad industrial y su entorno ambiental y urbano, en las que los diversos procesos productivos son considerados elementos dependientes e interrelacionados. El objetivo principal es potenciar la simbiosis entre las actividades humanas ubicadas en un área determinada, mediante intercambio de materiales y energía, el aprovechamiento del conocimiento localizado en diversas actividades, el desarrollo de instalaciones o las iniciativas compartidas. La EI rechaza el concepto de residuo como material sin valor o inútil, imitando a los ecosistemas naturales en los que nada es descartable, todos los materiales son reutilizados con gran eficiencia [7]. Esto se consigue en parte usando los subproductos y residuos de una industria como materia prima de otras, con lo cual es fácil imaginar los beneficios económicos y medioambientales que este método comporta, pues al ahorro de recursos se suma la minimización de residuos y la disminución de cargas contaminantes, añadiendo la

mejora de la imagen ambiental de las empresas, entidades y municipios y la mayor relación y colaboración dentro del sector industrial con el medio social y natural [13].

Para Cervantes [13], la EI no se limita sólo a estos métodos de cierre de ciclo, también denominados SI y metabolismo industrial, sino que se sirve de otros muchos métodos que contribuyen a disminuir el impacto ambiental, mejorar la ecoeficiencia y aumentar la rentabilidad, siempre tendiendo hacia una mayor sostenibilidad. Por tanto, en el estudio o la implantación de un ecosistema industrial se pueden usar métodos como el análisis de ciclo de vida, la minimización, la producción limpia, el análisis económico-ambiental, etc., pero teniendo en cuenta que aquello más específico de la EI es crear una red de industrias, vinculadas por sus residuos y a la vez relacionadas con el entorno social y natural. Por ello destacan tres elementos clave (Figura 9):

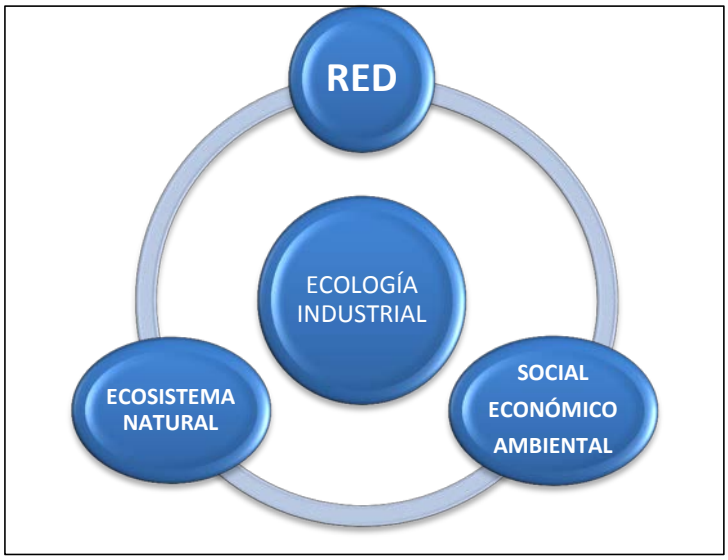


Figura 9. Organigrama ecosistema industrial [13].

- Creación de una red de empresas o entidades relacionadas con su entorno.
- Que intente imitar el funcionamiento de los ecosistemas naturales donde los residuos de una especie son la materia prima de otra.

- Que incluya las tres vertientes de la sostenibilidad (social, ambiental y económica).

Para finalizar, según concluye Erkman [14], "los principales esfuerzos deberían ir encaminados al desarrollo de herramientas prácticas y de fácil uso para la implementación de la EI en empresas, gobiernos y consumidores locales", por ello este proyecto persigue el objetivo de desarrollar una herramienta de esas características.

Ejemplos de proyectos de EI.

Algunos de los ejemplos que dieron lugar a la EI empezaron hace unos 30 años en Europa (como es el caso de *Kalundborg y Styria*), en los años 90 en América (*Burnside*, en Canadá; *Devens, Brownsville y Midlohian*en US; *Tampico en México*; etc.) y otros están surgiendo actualmente con fuerza, especialmente en Asia (*Naroda* ,India; *BuganganBaru*, Indonesia; Corea, China, etc.) [13].

También, bajo el nombre de sinergia de subproductos (By-productsynergy), se han desarrollado en Tampico (México), en Midlohian (Texas, US) y en otros lugares del mundo experiencias de intercambios de subproductos y residuos con la idea de tender a un ciclo cerrado de materia. Estos tipos de experiencias están incluidas dentro del área de la EI. En la tabla 2, se enumeran los ejemplos más representativos de implantación de EI, alrededor del mundo.

Europa	Asia	América
Kalundborg (Dinamarca) MESVAL (España, Italia y Grecia) Styria (Austria) Ora Eco-Park (Noruega) Jyväskylä (Finlandia) Progetto CLOSED (Italia)	Bungangan Baru (Indonesia) Naroda (India) Nandeseri IE (India) Thane-Pelapur IE (India) Calabarzon (Filipinas)	By-Product Synergy, Tampico (México) Burnside (Canadá) The Bruce Energy Center (Canadá) Québec (Canadá) Devens (EUA) Brownsville (EUA)

Tabla 2. Ejemplos de implantación de EI en el mundo [13].

Caso Kalundborg.

Se localiza en el fiordo de Kalundborg a 100 kilómetros de Copenhague, ciudad que posee una pequeña zona industrial al margen de la costa Danesa. Allí nació entre los años 60-70 y sin planificación previa, una red de intercambio de residuos al que se le dio el nombre de SI que ha sido hasta la fecha, el programa más completo en cuanto a intercambio de subproductos se refiere.

Nació prácticamente por casualidad cuando unas pocas empresas, tratando de reducir costos y cumplir con la legislación ambiental del país, buscaron alternativas para el manejo de sus residuos y el aprovechamiento del agua subterránea.

El parque de Kalundborg se creó principalmente con [16]:

- **Asnaes** (central eléctrica), ésta posee 600 empleados, alimentada por carbón, es la mayor central de Dinamarca, con una capacidad de 1500 Megavatios.
- **Statoil** (refinería), cuenta con 250 empleados, siendo la mayor refinería de petróleo de Dinamarca, con una capacidad de 3,2 millones de toneladas procesadas/año. Con proyección a alcanzar los 4,8 millones de toneladas procesadas/año.
- **Gyproc** (placas de yeso para la construcción), tiene empleadas a 160 personas y su producción anual es de 14 millones de m^2.
- **Novo Nordisk** (empresa internacional de biotecnología), emplea a 1400 personas con ventas anuales de 2000 millones de dólares. La planta que posee en Kalundborg es la mayor de la empresa: elabora productos farmacéuticos (incluyendo el 40% de la oferta mundial de insulina) y enzimas industriales.

El ciclo se inicia cuando la empresa Gyproc decide reducir sus costos de producción a través de la explotación del gas excedente que Statoil quemaba, más tarde la empresa Asnaes modifica su sistema de abastecimiento, al combinar en su consumo, agua proveniente del lago de Tisso junto con agua de refrigeración y residuos de la refinería de Statoil, con lo que logró evitar al 100% el uso de agua proveniente de recursos subterráneos.

Asnaes también traspasaba los picos de energía excedentes a la red de calefacción central, esta colaboración entre empresa y comunidad permitió reducir en un 80% los desechos energéticos de la empresa y proveer calefacción a un bajo costo a la comunidad

Los desechos en Kalundborg se venden a través de contratos bilaterales en tres áreas: energía, agua y flujos de materiales, poniendo énfasis en que los beneficios deben ser para ambas partes. El único elemento o producto que es facilitado gratuitamente es el fertilizante que suministra Novo Nordisk a los agricultores locales, el resto de los desechos se vende [14].

Como tal, la SI de kalundborg se inició en 1972, mostrando un fortalecimiento paulatino. En 1994, 16 contratos regían el proyecto de SI en Kalundborg, con una inversión de 40 millones de dólares y con un ahorro estimado anual de 7 millones de dólares. Para el año 2000 ya se habían invertido 75 millones de dólares en 19 proyectos con un ahorro estimado de 15 millones de dólares. Y sólo en los últimos 4 años (2004-2008) se han iniciado 4 nuevos proyectos de intercambio de materiales entre diferentes empresas (Figura 10) [13].

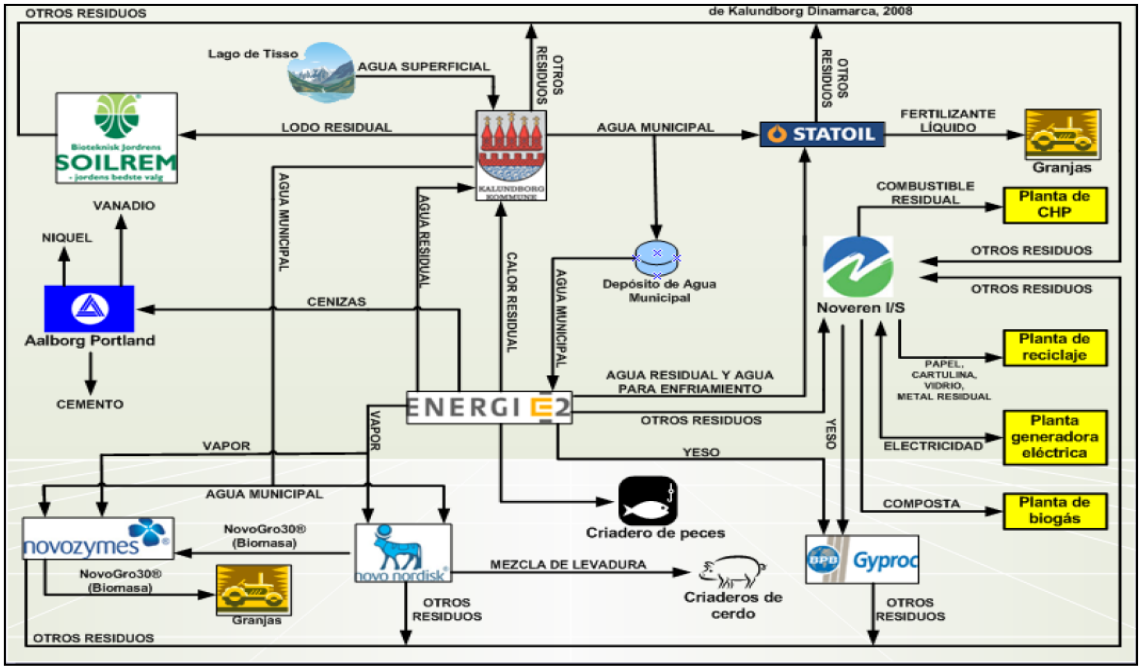


Figura 10. SI en Kalundborg [13].

Caso Martorell.

El proyecto se desarrolla en la zona industrial “La Torre”, ubicada en el municipio de Martorell, España.

La problemática de este proyecto radicaba en que el núcleo industrial está ubicado cerca de las zonas residenciales, lo que provocaba a la comunidad miedo y rechazo a cualquier actividad, la solución se encontró en una campaña estratégica de comunicación y acercamiento con el fin de mostrar la nueva política de gestión medioambiental.

El complejo está formado principalmente por PYMES, con grandes necesidades en materia de gestión de residuos, legislación y directrices en gestión medioambiental cooperativa.

El objetivo principal es crear un parque industrial basado en los principios de la ecología y la SI [16].

- Identificación mediante un análisis de flujo de materia y energía, las posibles simbiosis dentro y fuera del parque industrial.
- Reutilización de residuos para que sean usados como materia prima dentro o fuera del parque, una vez que se hayan identificado y evaluado los aspectos económicos, ambientales y sociales.
- Divulgación de este modelo para que pueda ser aplicado a otras industrias en la zona de Martorell o fuera de la zona del municipio.

Caso de Tarragona.

En Tarragona existe el mayor polo petroquímico de España. Es un caso excepcional puesto que a pesar de que las distintas empresas son competidoras entre sí en determinados sectores, se produjo una gran diversidad de reaprovechamientos de residuos. Se consiguió:

- Disminuir el impacto ambiental.
- Reducir el consumo de recursos no renovables
- Bajar los costos de producción.

Los altos costos en transporte fueron el elemento clave en el éxito del proyecto. Las empresas estaban muy próximas unas con otras, pero a pesar de ello existía un flujo incesante de camiones que llevaban productos de unas hacia las otras. Por esta razón surgió una manera más rentable de hacer llegar los productos, la de conectarse mediante

tuberías entre las empresas participantes de la SI, con lo cual se redujeron los costes de producción notablemente.

Tarragona es un excelente ejemplo de SI ya que existe una dependencia entre las empresas, los productos de una dependen de los de la otra. Hay que recordar que un factor determinante en el éxito de la SI es la proximidad física entre las empresas, y en este caso se cumple [16].

2.3._ LA VARIABLE GEOGRÁFICA EN LA VIABILIDAD DE SINERGIAS DE SIMBIOSIS INDUSTRIAL.

La gestión y análisis de grandes volúmenes de datos sobre multitud de actores y diversidad de simbiosis, el descubrir y reconocer potenciales simbiosis y posibilidades de sinergias entre las empresas y la escala espacial de las empresas, organizaciones e intercambios son algunos de los problemas que no pueden ser abordados y definidos simplemente con el concepto independiente de SI y herramientas de EI. En este caso las TIC y en concreto los SIG juegan un papel muy importante en facilitar y dar apoyo al desarrollo de SI mediante la planificación espacial, la toma de decisiones, la visualización, el análisis y la gestión de la información. [17].

El mismo autor en su artículo [17], habla de SIG más en concreto como una herramienta utilizada para la planificación urbana y regional, como buscador de sinergias para la detección de potenciales ofertas y demandas, acumulación de flujos de material desde un punto de vista espacial y temporal, optimización de herramientas para calcular el coste y distancia del transporte, resolución de problemas espaciales como distribución para lograr necesidades específicas, reparto de fuentes y sumideros de intercambio y

distribución de nuevas infraestructuras [17]. A continuación se citan en el mismo artículo varios ejemplos de proyectos en los que se utiliza la componente SIG:

Massard y Erkman (2007, 2009) usan SIG como una herramienta para favorecer e implementar proyectos de SI destinados a la detección de potenciales fuentes de sinergias y agentes. Con el propósito de desarrollo eco-industrial a nivel urbano, Kincaid y Overcash utilizaron SIG en el 2001 en el Norte de Carolina (USA) [17].

El objetivo de construir y sintetizar un ecosistema agroindustrial en el estado de Georgia (USA), fue el principal motivo de Özyurt y Realff (2002) para usar SIG. Los autores lo utilizaron para proporcionar modelos espaciales y poder combinar, coordinar, sintetizar y analizar actividades agro-industriales [17].

Nobel y Allen (2000) usaron SIG con el objetivo de intercambiar e integrar la reutilización del agua industrial entre las empresas o a nivel regional, destinada a la conservación del mismo en el complejo industrial de Bayport, Texas, USA. Lo utilizaron para identificar oferta y demanda de reutilización del agua con una distribución geográfica de fuentes y sumideros, coste óptimo y distancia viable, toma de decisiones y visualización [17].

La creación de proyectos de eco-ciudad fue la principal motivación para Fujita et al. (2004) para utilizar SIG en sus investigaciones. Los autores usaron SIG como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones respecto a las simbiosis industriales en la eco-ciudad de Kawasaki y para la evaluación espacial de los flujos de material. Además, la evaluación de la red simbiótica de la eco-ciudad de Kawasaki ha sido desarrollada cuantitativamente y cualitativamente mediante la integración de SIG en el modelo de eco eficiencia de la región.

En la siguiente tabla se resumen los principales usos y aplicaciones de la herramienta SIG que se han utilizado por diferentes investigadores destinadas a facilitar el desarrollo de la SI.

Literature Reviewed	*Aim & Motivation*	*Why use GIS? (Role and usage)*	*How has GIS been applied?*	*How did they organize it?*
Massard G., Erkman S. (2007) Massard G., Erkman S. (2009)	Regional policy context for the local Agenda 21, Geneva, Switzerland.	• Decision making support tool. • Technical support tool; facilitating and implementing regional IS project, detecting more potential resource synergies and industrial actors. • Visualization • Optimal location identification	• Providing regional database by industrial input/output and EMFA analysis. • Building database management tool for the treatment of input/output data. • Using and linking GIS tool to regional industrial database.	Established an advisory board for E/IS implementation with collaboration of relevant government agencies, University of Lausanne, the Territorial Information System Office, and consulting company (SYSTEMES DURABLES).
Kincaid J., Overcash M. (2001)	Eco-industrial development at the urban level; six-county metropolitan area in North Carolina, U.S.A.	• In order to identify regional potential actors and industrial partners. • To facilitate selecting any facility's location with their input-output. • Mapping the location of actors and industrial partners with their input/output.	• Preparing an inventory of factors and industrial partners in the region. • Building regional database. • Linking the database gathered from industries and institutions in the region to regional GIS maps.	The project was initiated by a governmental planning organization including 30 local governments. The project was undertaken with partnership of several other organizations such as universities, local economic development, the state pollution prevention agency, and a group of representatives from local industries.
Özyurt B. D., Realff J. M., (2002)	Building and Synthesizing an agro-industrial ecosystem in the state of Georgia, U.S.A.	• To provide general modeling and decision-making support to combine, coordinate, synthesis and analyze the agro-industrial activities. • This is done with use of GIS; enabling spatial and environmental modeling.	• Identification/screening, selection and implementation of energy and material exchanges between existing facilities combined with the addition of a small number of new facilities. • Using the Manufacturing Directory of the state of Georgia together with Georgia GIS data and applying analysis tools ArcView GIS with additional information from the American Peanut Shaller Association (APSA). • Making a database of sources and sinks of materials, energy exchanges and facilities and linking to GIS database.	Based on the previous work by U.S. EPA for designing industrial ecosystems tool and another U.S. EPA sponsored project for eco-industrial development in North Carolina, U.S.A. Combining different tools based on industrial ecology concepts, environmental science and engineering, processes system engineering and GIS.
Nobel E. C., Allen T. D. (2000)	Exchanging and integrating industrial water reuse at inter-firms or regional level for water conservation in Bayport Industrial Complex in Texas, U.S.A.	• In order to identify regional supply and demand potentials of reused water together with geographical distribution of sinks and sources. • Based-map construction • Optimal cost and distance feasibility • Decision-making • Visualization	• A GIS-based water reuse model was used to incorporate spatial information into water reuse analysis. • The model utilized a linear programming method embedded in GIS model.	
Fujita et al., 2004	Creating an eco-town model for Japanese Eco-town projects. (The case of Kawasaki Eco-town project)	• Decision-making support tool for extensive industrial symbiosis in Kawasaki eco-town. • For spatial material flows assessment. • The evaluation of Kawasaki eco-town symbiotic network has been performed quantitatively and qualitatively by integration of GIS and eco-efficiency of the region.	• Data from national and local statistical database. • Environmental reports of industries. • Using GIS software and integrating with regional database.	Establishment of eco-town program by Japanese government. Preparations of an eco-town plan and model by local government and approved by the Ministry of Economy, Trade and Industry, and the Ministry of the Environment.

Tabla 3. Diferentes escenarios del uso de SIG [17].

En conclusión la herramienta SIG ha sido utilizada en los últimos años por muchos investigadores ya que se ha convertido en una poderosa herramienta destinada a facilitar el desarrollo y apoyo de SI, aportando nuevos enfoques de análisis como pueden ser:

- Planificación espacial a nivel municipal y regional.
- Medio de apoyo en la toma de decisiones.
- Visualización y análisis de datos.
- Análisis de gestión de la información.
- Análisis del coste óptimo del transporte y de la distancia de transporte.
- Búsqueda de soluciones a problemas de distribución espacial.
- Distribución de nuevas infraestructuras y de fuentes y sumideros de intercambio.

De todas formas el autor concluye exponiendo que todo esto no es de aplicación directa ya que requiere una cierta metodología de fases como podría ser en primer lugar la construcción de una base de datos de la industria regional como punto de partida, incluyendo un inventario de los agentes industriales junto a sus input/output en la forma de intercambio de energía, material, agua, y subproductos. A lo cual le seguiría la creación de un mapa SIG-base regional y la unión a una base de datos de la industria regional. Para ayudar al desarrollo de soluciones SIG para SI, la formación de una organización de coordinación para la gestión de los datos parece ser un prerrequisito.

2.4._ SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).

Un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñado para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelización y presentación de datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos de planificación y gestión [18]. Aunque también puede definirse como un modelo de una parte de la

realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información [19].

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

Sin embargo, un SIG no es sólo un conjunto de programas informáticos instalados en los equipos adecuados. Se debe tener en cuenta que para que estas tecnologías funcionen como un sistema de procesamiento es necesario contar también con los datos, el personal especializado y las aplicaciones [20]. Así pues, se puede considerar que los componentes fundamentales de un SIG son el software, el hardware, los datos y el personal.

2.4.1._ MODELOS DE DATOS.

La información geográfica está compuesta por datos espaciales georreferenciados que suelen llevar una información alfanumérica asociada. La georreferenciación es el posicionamiento en el que se define la localización de un objeto espacial en un sistema de coordenadas y datum determinado.

Al trabajar con sistemas de información geográfica se representa un modelo del mundo real, es decir, una representación digital en base a objetos discretos. Las reglas según las cuales se modela el mundo real por medio de estos objetos discretos constituyen el modelo de datos [20].

Los datos espaciales en un SIG pueden ser representados a través de dos formatos o sistemas espaciales: vectorial y ráster.

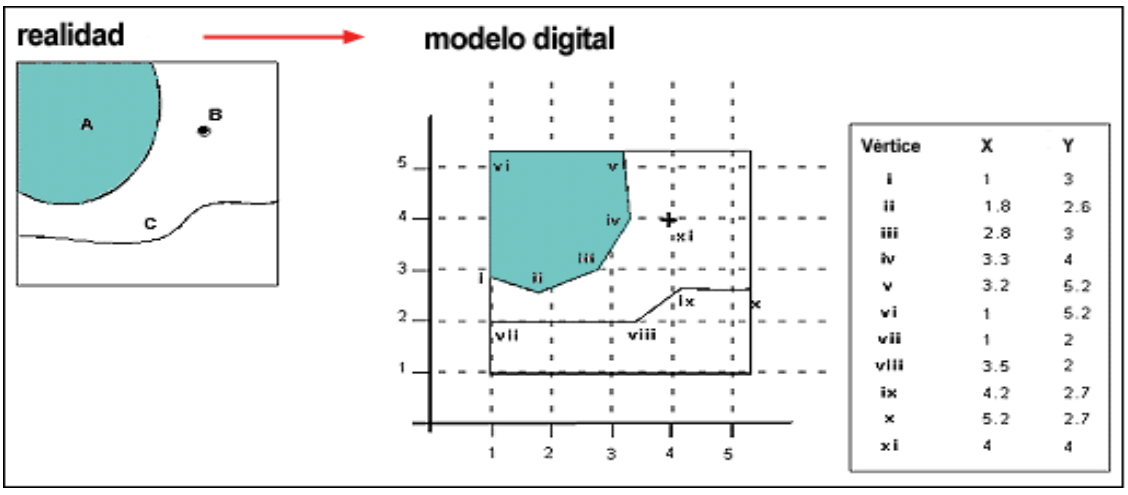
2.4.1.1._ MODELO VECTORIAL.

La información del mundo real es representada por tres tipos de objetos espaciales: puntos, líneas y polígonos (Ver figura 11).

Los puntos son objetos espaciales de 0 dimensiones: tienen localización en el espacio pero no tienen longitud ni anchura, están representados por un par de coordenadas (X, Y).

Las líneas son objetos espaciales de una dimensión, ya que tienen longitud, pero no anchura. Las líneas están definidas mediante una sucesión de puntos. Suelen ser elementos que se integran en redes, ya sean naturales (las redes hidrográficas) o artificiales (las redes de carreteras).

Los polígonos son objetos espaciales de dos dimensiones: longitud y anchura. Están constituidas por líneas cerradas y rellenas. Ejemplos serían las parcelas del catastro o las secciones censales que se representan como polígonos en las bases de datos.



Vértice	X	Y
i	1	3
ii	1.8	2.6
iii	2.8	3
iv	3.3	4
v	3.2	5.2
vi	1	5.2
vii	1	2
viii	3.5	2
ix	4.2	2.7
x	5.2	2.7
xi	4	4

Figura 11. Modelo vectorial [19].

2.4.1.2._ MODELO RÁSTER.

En el formato ráster, el espacio está representado por un conjunto de celdas adyacentes llamadas *pixels*, (Figura 12), que representan las unidades de información espacial. Estas establecen su localización por un sistema de referencia en filas y columnas, acompañado por la extensión del mapa y el tamaño de la celda. Los píxeles en realidad no mantienen una relación mutua entre sí. En la cobertura de tipo ráster, cada celda tiene un valor o código asignado, correspondiente al tipo de información temática que representa la celda [19].

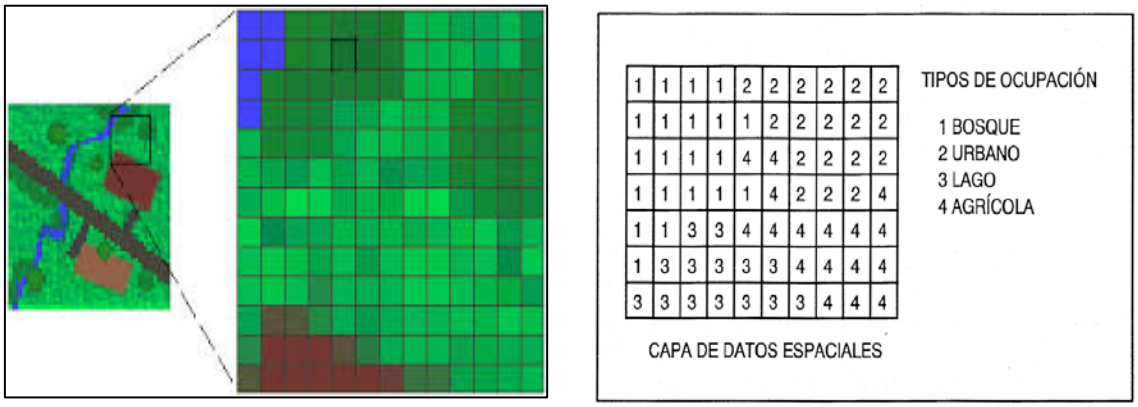


Figura 12. Modelo ráster (izda.) y almacenaje del atributo en el sistema ráster (dcha.) [19]

Una de las principales ventajas del modelo de datos ráster es que utiliza una estructura de datos simple, con lo que las operaciones de superposición de mapas se implementan de forma más rápida y eficiente. Es el modelo de datos más eficiente cuando se trabaja con imágenes digitales. En general, mediante el modelo de datos ráster, la salida de gráficos resulta menos estética, ya que los límites entre las zonas tienden a presentar la apariencia de bloques en comparación con las líneas suavizadas de los mapas dibujadas a mano. Esto puede solucionarse utilizando un número muy elevado de celdas más pequeñas [21].

2.4.1.3._ VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE AMBOS MODELOS.

El modelo de SIG ráster o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Cuantos mayores sean las dimensiones de las celdas menor es la precisión o detalle en la representación del espacio geográfico (resolución). En el caso del modelo de SIG vectorial, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, de límites definidos [19]. Por lo tanto en estudios donde no se necesite una excesiva precisión espacial se podría utilizar el modelo ráster.

El método vectorial permite que se almacenen los datos en un espacio mucho más reducido, se necesita menos espacio para almacenar coordenadas y la información sobre su "relleno", en comparación con una cobertura compuesta por píxeles que repite el código en cada celda. Además, si la unidad geográfica (la forma de los objetos) es idéntica en mapas de distintos temas, se almacena toda la información temática en una misma tabla. Naturalmente se puede visualizar solo un tema a la vez.

En resumen, el sistema vectorial predomina cuando el objetivo consiste es analizar movimientos a través de una red, ya que en este modelo las estructuras lineales realmente son continuas, o cuando hay que operar con una extensa base de datos o plotear mapas en alta calidad. En cambio, el sistema ráster se orienta más a operaciones analíticas en SIG y al tratamiento de imágenes de satélite, ya que tienen el mismo formato de las imágenes y fotos aéreas (digitales). Cada sistema tiene sus ventajas e inconvenientes, de hecho se trabaja con ambos formatos aprovechando las ventajas de los dos [19].

2.4.2._ REFERENCIAS GEOGRÁFICAS.

Es necesario definir un sistema de referencia y un sistema de coordenadas para referir la posición de manera absoluta.

La figura "natural" de la tierra, excluyendo la topografía o forma externa, se asemeja a la definición de un **geoide** (Figura 13)**,** definida como una superficie de nivel equipotencial del campo gravitatorio terrestre, es decir la superficie donde la gravedad equivale a la del nivel del mar, aumentando en el ecuador y disminuyendo en los polos. El geoide es la superficie de referencia que se utiliza en la geodesia [22].

Como la definición matemática del geoide presenta gran complejidad, así como su definición, la superficie de la tierra puede representarse con mucha aproximación mediante *un elipsoide de referencia* para la altitud. Queda definido con:

- Superficie de referencia: dimensiones (semiejes a, b).
- Ejes o líneas de referencia en la superficie.
- Sentidos de medida.

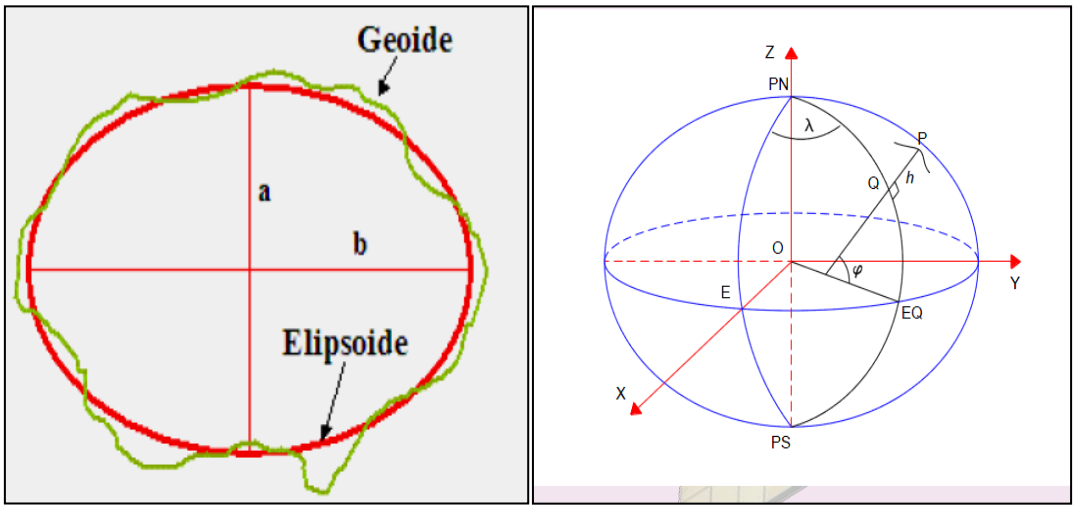


Figura 13. Geoide y elipsoide de revolución (izq), coordenadas geodésicas elipsoidales (φ, λ, h) (dcha) [22].

Sobre esta superficie se definen las **coordenadas geodésicas:**

Latitud geográfica (φ): ángulo medido sobre el plano meridiano que contiene al punto entre el plano ecuatorial y la normal al elipsoide en P.

Longitud geográfica (λ): ángulo medido sobre el plano ecuatorial entre el meridiano origen y el plano meridiano que pasa por P.

La altura geodésica viene representada por h.

El elipsoide de revolución que mejor se adapte al geoide en la zona con un punto donde ambos coinciden o bien la normal a ambos, es la solución adoptada, constituyendo el concepto de Sistema Geodésico de Referencia. A lo largo de la historia diversos elipsoides se han utilizado para definir el Sistema de Referencia de cada país, de tal forma que se define aquel que mejor se ajuste al geoide. En 1924 Hayford propuso en la Asamblea Internacional de Geodesia y Geofísica (Madrid) un elipsoide Internacional de Referencia (European Datum 1950, ED50). En 1970 España adoptó el ED50 como sistema oficial [23].

Desde 1987, el GPS utiliza el World Geodetic System WGS-84, que es un sistema de referencia terrestre único para referenciar las posiciones y vectores. Se estableció este sistema utilizando observaciones Doppler al sistema de satélites de navegación NNSS o Transit, de tal forma que se adaptara lo mejor posible a toda la Tierra.

Para conseguir una realización práctica de un marco geodésico global de referencia se tienen que establecer una serie de puntos con un conjunto de coordenadas. Como consecuencia de estos efectos temporales se definen *los sistemas y marcos de referencia terrestres*, el International Terrestrial Reference Frame (ITRF).

La Subcomisión de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) para el marco de referencia europeo (EUREF), recomendó que el Sistema de Referencia Terrestre para Europa que debía ser adoptado (Florencia, 1990), era el denominado EuropeanTerrestrial Reference System 1989 (ETRS89) [23].

El Real Decreto 1071/2007 establece ETRS89 como sistema de referencia geodésico oficial en España para la referenciación geográfica y cartográfica en el ámbito de la Península Ibérica y las Islas Baleares [23].

2.4.2.1._ SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICO.

En un sistema de coordenadas geográficas (SCG), se utiliza una superficie esférica de tres dimensiones para definir ubicaciones en la Tierra. Un SCG incluye una unidad angular de medida, un meridiano base y un datum (basado en un esferoide).

Para hacer referencia a un punto se utilizan sus valores de latitud y longitud. La longitud y la latitud son ángulos medidos desde el centro de la Tierra hasta un punto de la superficie de la Tierra. Los ángulos se suelen medir en grados (o en grados centesimales).

En el sistema esférico, las líneas horizontales o líneas este-oeste son líneas de igual latitud, o paralelos. Las líneas verticales o líneas norte-sur son líneas de igual longitud, o meridianos. Estas líneas abarcan el globo y forman una red cuadriculada llamada retícula.

La línea de latitud que se encuentra en el punto medio entre los polos se denomina ecuador. Define la línea de latitud cero. La línea de longitud cero se denomina meridiano base. Para la mayoría de los sistemas de coordenadas geográficas, el meridiano base es la longitud que atraviesa Greenwich, Inglaterra. Otros países utilizan

líneas de longitud que pasan a través de Berna, Bogotá y París como meridianos base. El origen de la retícula (0,0) se define por el punto donde se intersecan el ecuador y el meridiano base. El globo se divide, entonces, en cuatro cuadrantes geográficos basados en rumbos de brújula desde el origen. El norte y el sur están encima y debajo del ecuador, y el oeste y el este están a la izquierda y a la derecha del meridiano base.

El datum define la posición del esferoide relativa al centro de la tierra. Un datum proporciona un marco de referencia para medir las ubicaciones en la superficie de la tierra. Define el origen y la orientación de las líneas de latitud y longitud. Está compuesto:

- Un elipsoide.
- Por un punto llamado “Fundamental” en el que el elipsoide y la tierra son tangentes. De este punto se han de especificar longitud, latitud y el acimut de una dirección desde él establecida. En el punto Fundamental, las verticales de elipsoide y tierra coinciden. También coinciden las coordenadas astronómicas (las del elipsoide) y las geodésicas (las de la tierra).

En España, el datum utilizado tradicionalmente en cartografía, tanto en los mapas del Servicio Geográfico del Ejército (SGE) como en los del Instituto Geográfico Nacional (IGN), es el europeo. Este puede ser el de 1950 si el mapa esta "formado" (información que se obtiene en la letra pequeña del margen del mapa) antes o durante 1979 o el europeo de 1979, si el mapa está formado después de este año. Ambos datum tienen como elipsoide el de Hayford, también llamado Internacional de 1924, y como punto fundamental Postdam (Gran Bretaña).

2.4.2.2._ PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS.

Las proyecciones cartográficas son procedimientos que nos permiten representar el esferoide terrestre en el plano del mapa. La superficie de este esferoide no es desplegable en un plano, por lo que es imposible realizar la traslación sin cometer errores: o bien deformamos los contornos de la figura proyectada, o bien falseamos el área de la figura.

En un sistema de coordenadas proyectadas, los puntos se identifican por las coordenadas cartesianas (x e y) en una malla cuyo origen depende de los casos. Este tipo de coordenadas se obtienen matemáticamente a partir de las coordenadas geográficas (longitud y latitud), que no están proyectadas [24].

Se distinguen tres tipos de proyecciones básicas: cilíndricas, cónicas y acimutales.

1. **<u>Proyección cilíndrica.</u>**

La proyección de Mercator, que revolucionó la cartografía, es cilíndrica y conforme en ella, se proyecta el globo terrestre sobre una superficie cilíndrica.

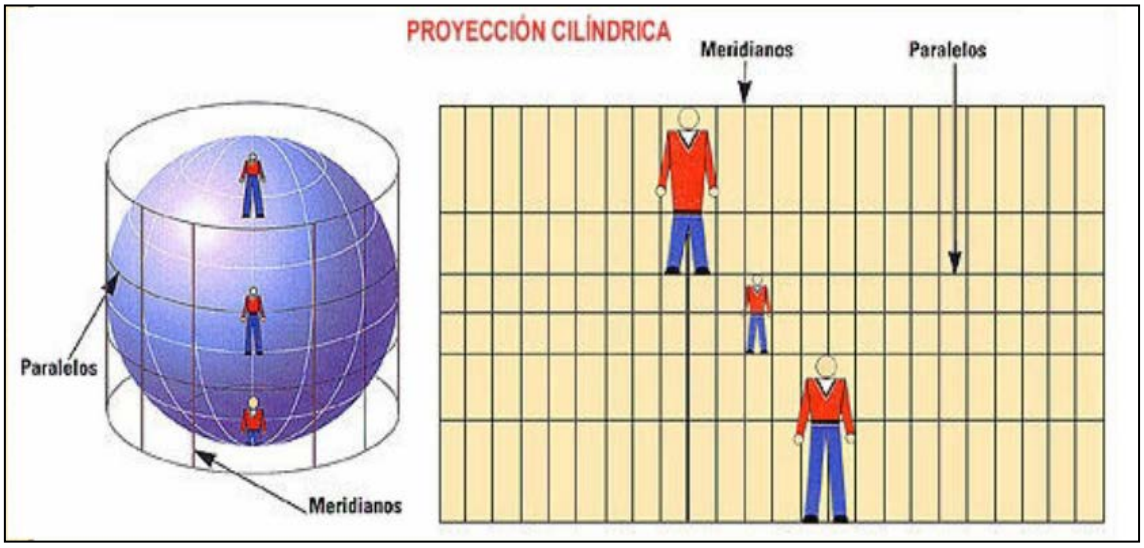


Figura 14. Proyección cilíndrica [24].

Es una de las más utilizadas, aunque por lo general en forma modificada, debido a las grandes distorsiones que ofrece en las zonas de latitud elevada (Figura 14).

2. Proyección cónica.

La proyección cónica se obtiene proyectando los elementos de la superficie esférica terrestre sobre una superficie cónica tangente, situando el vértice en el eje que une los dos polos (Figura 15).

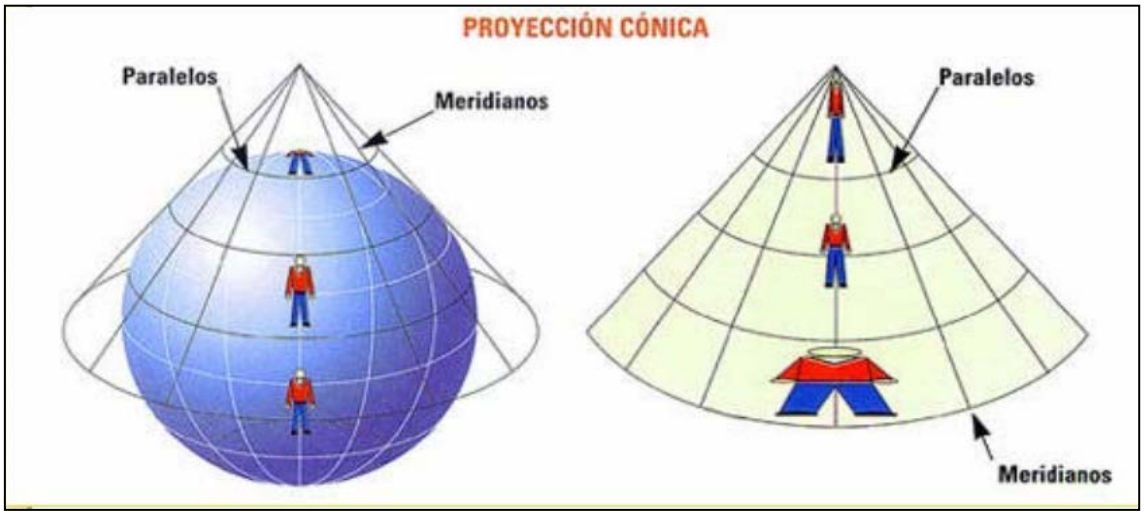


Figura 15. Proyección cónica [24].

3. Proyección acimutal, cenital o polar.

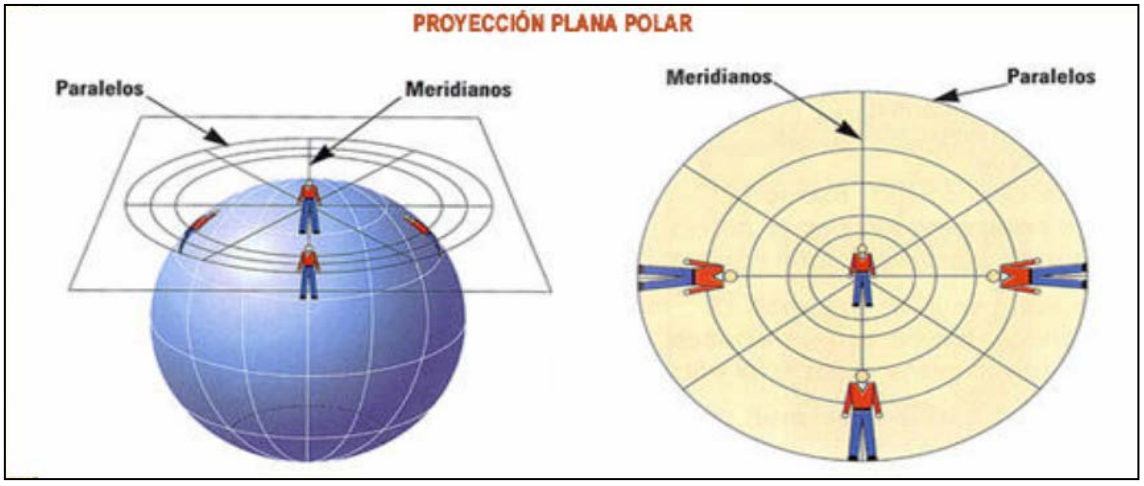


Figura 16. Proyección plana polar [24].

En este caso se proyecta una porción de la Tierra sobre un plano tangente al globo en un punto seleccionado, obteniéndose una imagen similar a la visión de la Tierra desde un punto interior o exterior (Figura 16).

2.4.2.3._ SISTEMA UTM (UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR).

Es un sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator, que se construye como la proyección de Mercator normal, pero en lugar de hacerla tangente al Ecuador, se le hace tangente a un meridiano. Es evidente que a medida que un lugar se aleja del meridiano de tangencia, las deformaciones se hacen cada vez mayores, lo que se hace es subdividir la superficie terrestre en 60 husos iguales de 6º de amplitud [22] (Figura 17).

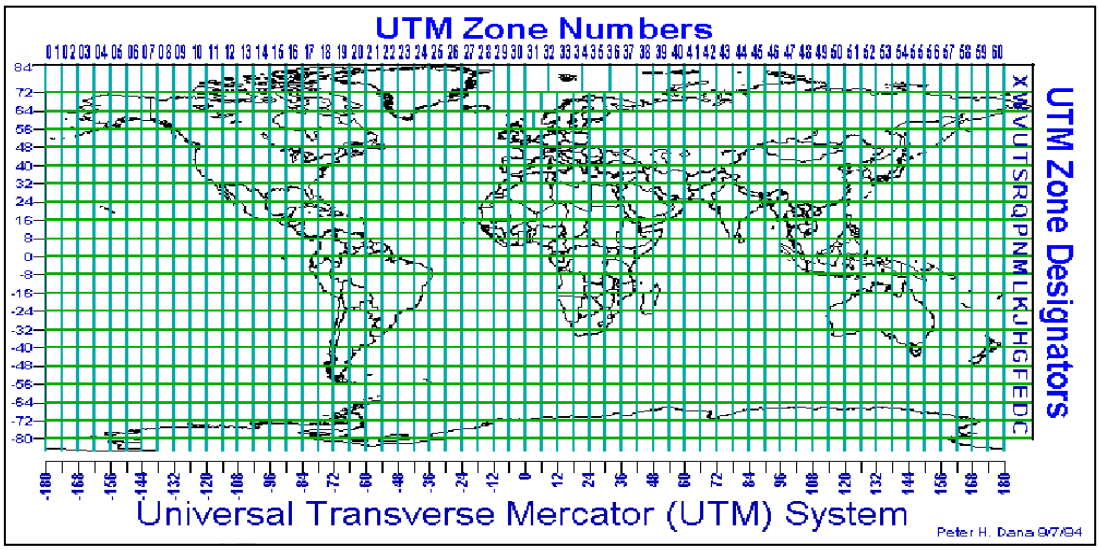


Figura 17. Coordenadas UTM [22].

2.4.3._ SOFTWARE SIG.

Los SIG de escritorio, son aquellos que están representados por un único ordenador con software SIG, que se utiliza para la recolección de datos, edición, análisis y presentación

de los mismos, de ellos el que alcanza en uso un 70% en el mercado es el software comercial ArcGIS Desktop ESRI ®.

Sin embargo en los últimos años ha habido un significativo desarrollo de herramientas SIG aplicadas a diversas áreas, destacando especialmente las herramientas libres o de código abierto [25].

Software	Desarrollador	Web
GRASS	GRASS DevelopmentTeam	http://grass.fbk.eu/
Quantum GIS	QGIS DevelopmentTeam	http://www.qgis.org/
IL WIS	52 North	http://52north.org/
uDig	RefractionsResearch	http://udig-refractions.net/
SAGA	University of Goettingen	http://www.saga-gis.org/en/
OpenJUMP	OpenJumpTeam	http://www.openjump.org/
MapWindow	MapWindow Open SourceTeam	http://www.mapwindow.org/
gvSIG	Iver, Generalitat Valenciana, UniversitatJaume I, Prodevelop	http://www.gvsig.org/web/
Kosmo Desktop	SAIG S.L.	http://www.opengis.es/
TerraView	INPE e Tecgraf/PUC-Rio.	http://www.dpi.inpe.br/terraview/index.php

Tabla 4. Herramientas SIG open source (código abierto) [21].

Las principales ventajas de estas herramientas libres o de código abierto están en su capacidad de acercar el conocimiento a cualquier individuo, debido a su gratuidad, y en las opciones de personalización que ofrecen, que permiten adaptarlas a casos específicos de aplicación [26].

El software libre está en auge y en materia de sistemas de información geográfica la diferencia con el comercial está más en su difusión que en su potencialidad, ya que las funcionalidades son similares o ligeramente inferiores pero simplemente debido a la relativa juventud de estos proyectos. En la tabla 4 aparecen las principales herramientas SIG libres.

De entre los mencionados Chen [25], recomiendan QGIS, OpenJUMP, gvSIG y MapWindow en función de suoperatividad, complejidad, madurez, popularidad, capacidad de conexión a Internet, calidad de la base de datos y lenguaje de programación.

Durante los últimos años se vienen realizando y publicando estudios, tesis y proyectos de investigación que comparan varios clientes SIG de escritorio, en uno de de los artículos más actuales publicado por el autor González [27], comparando herramientas libres destinadas a planes de ordenamiento territorial, **gvSIG** consigue la máxima nota (4,9 sobre 5,0 con la calificación de excelente).

Por último cabe mencionar la opinión de uno de los mayores especialistas en recursos GIS, Morales [28], quién realiza una comparación entre los tres software más relevantes en estos momentos: ArcGIS, gvSIG y Quantum GIS. Él llega a la conclusión que no hay una respuesta clara a la pregunta de cuál es mejor, todos tienen sus ventajas y sus inconvenientes, y todo depende del uso que se les quiera dar. ArcGIS destaca en sus instrumentos de geoprocesamiento, y siempre ha sido la herramienta perfecta para

realizar topología o trabajar con redes, pero muchas de estas tareas ya se pueden hacer tanto con Quantum GIS como con gvSIG; este último ha incorporado funcionalidades referente a topología y también en cuanto a redes. La interoperabilidad (conexiones a servicios WFS, WMS, etc), por ejemplo, o las conexiones a bases de datos, que se hacen de modo cómodo desde gvSIG o Qantum GIS son bastante tediosas en ArcGIS.

A la hora de adaptar un SIG a nuestro proyecto para realizar el estudio y análisis de los resultados cualquiera de ellos resulta ser una buena opción. Pero debido a que nuestra aplicación tiene como objetivos específicos de diseño basarse en herramientas de código abierto, la elección sería gvSIG. Una herramienta de código abierto que dispone de la ventaja de tener una comunidad de usuarios muy grande detrás que la permite crecer más rápido que el resto, supliendo sus carencias y disponiendo prácticamente de las mismas funcionalidades que otros programas de pago en los que necesitas licencias, perdiendo accesibilidad.

El mismo autor realiza una lista, (ver tabla 5), en la que coloca los aspectos más significativos de cada herramienta, esto no quiere decir que sean excluyentes en las otras o que constituyan aspectos negativos en las mismas.

<table>
<tr><th>ARCGIS</th><th>Quantum GIS</th><th>gvSIG</th></tr>
<tr><td>Composición y generación de mapas</td><td>Interfaz flexible</td><td>NavTable</td></tr>
<tr><td>Simbología y etiquetado</td><td>Interoperabilidad</td><td>Rendimiento con grandes volúmenes de información</td></tr>
<tr><td>Capacidad ráster</td><td>Conexión a base de datos, en particular PostgreSQL y PostGIS (vectorial y ráster)</td><td rowspan="8">Integración de SEXTANTE.</td></tr>
<tr><td>Capacidades 3D</td><td>Su administrador de complementos. Gran número de complentos</td></tr>
<tr><td>Personalización</td><td>La integración con GRASS.</td></tr>
<tr><td>Scripting con la ArcPy</td><td rowspan="4">Puedes usar R (manageR).</td></tr>
<tr><td>Documentación</td></tr>
<tr><td>Experiencia acumulada</td></tr>
<tr><td>Soporte</td></tr>
</table>

Tabla 5. Aspectos más relevantes en cada una de las herramientas analizadas [27].

Para finalizar en cuanto a programación, los tres software permiten la automatización de tareas de análisis mediante scripting y los tres han escogido el mismo lenguaje Python.

2.5._ TIC-SIG APLICADOS A LA DETECCIÓN DE SI.

La primera herramienta que se creó para esta necesidad apareció a finales del año 1990 en Estados Unidos, y a partir de ahí se fueron desarrollando otras muchas herramientas

en ámbitos locales como Universidades y consultorías, que no consiguieron ser comercializadas y su accesibilidad es difícil.

Existe muy poca literatura sobre los aspectos técnicos, por lo tanto en este estudio sólo se van a destacar aquellas herramientas de las que se dispone información suficiente para conocer su base teórica y su aplicación en el desarrollo de la EI y búsqueda de sinergias.

Antes de enumerar las aplicaciones más destacadas es importante hacer mención a la existencia de dos tipos de herramientas que son complementarias pero que su función es diferente [29].

- *Mercados de intercambio o bolsas de subproductos:* ponen en contacto a un productor de residuos con un comprador que conoce que el flujo puede ser reutilizado, los dos conocen de antemano que existe una posible sinergia para ese flujo. Por lo tanto esta herramienta simplemente relaciona a entidades que ya tienen el objetivo de crear una sinergia en particular. Algunas de ellas llevan cierto tiempo funcionando de forma estable y han permitido a las empresas que las usan, crear una línea de producto allí donde antes tenían un desperdicio. Sin embargo, al menos en España, la industria química parece no confiar en las ventajas de la segregación y se siguen mezclando corrientes de residuos, cuando algunas podrían ser aprovechadas con beneficio económico [15].
- *Herramientas de búsqueda de sinergias:* Se encargan de crear información sobre posibles sinergias entre entidades de un territorio y que raramente existen de forma espontánea.

Las herramientas aquí presentadas pertenecen a este segundo grupo.

2.5.1._THE FAST TOOL. (FACILITY SYNERGY TOOL).

En 1997 y 1999 la Agencia Americana de Medio Ambiente (US EPA), puso en marcha una acción de apoyo para la creación de proyectos de desarrollo eco-industrial en los Estados Unidos. Se financió el desarrollo de la primera herramienta informática para ayudar en la identificación de las sinergias: FAST (Fast Synergy Tool) creado por la compañía Industrial Economic Inc.

Su objetivo era “ayudar a los planificadores y ayuntamientos en la identificación de posibles intercambios de materiales, agua y energía, oportunidades de venta de energía y la coordinación en la adquisición o compra entre entidades industriales y no industriales” [29].

FAST es una base de datos elaborada en Access 97 que puede ser descargada de Internet. La última versión fue de febrero de 1999. Esta base de datos contiene un resumen de flujos de entrada y salida (Input y Output) de un gran número de perfiles de actividad. Las sinergias son deducidas de los perfiles de actividad contenidos en la base de datos.

En la siguiente figura 18, se puede apreciar cómo se han ido creando los diferentes perfiles de actividad, en este caso pertenece a una actividad de compostaje.

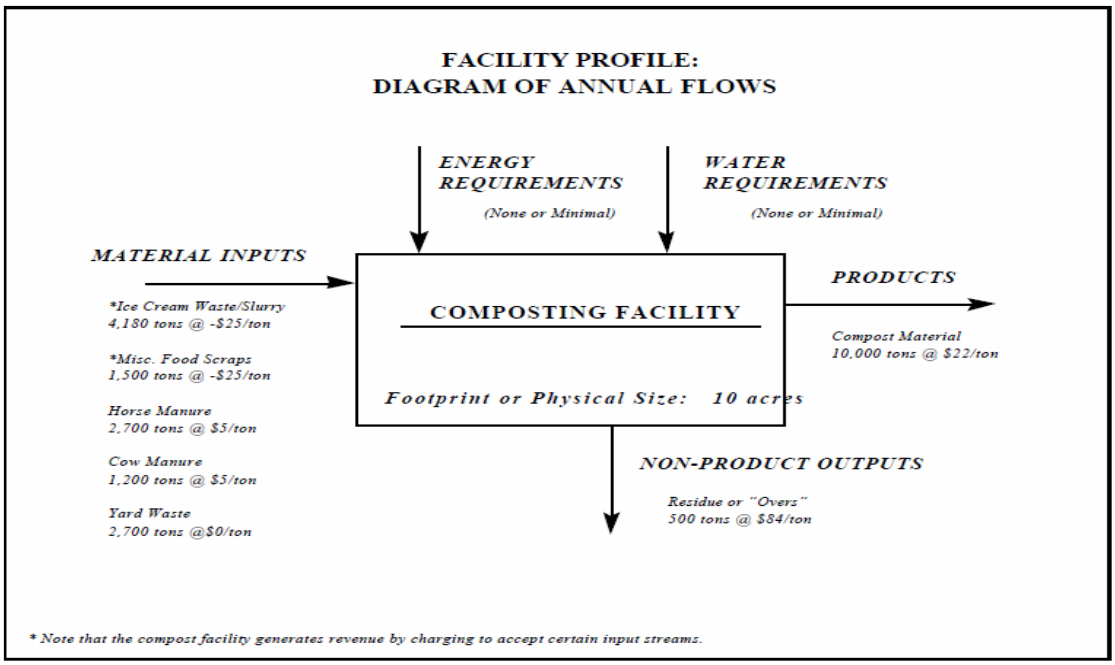


Figura 18. Esquema de un perfil de actividad [31].

La idea es, una empresa por ejemplo declara que tiene una actividad de compostaje, inmediatamente si dicha actividad ha sido previamente estudiada e introducida en FAST, se le asigna un resumen específico de flujos de entrada y salida, con él cual ya es posible comparar el tipo de actividad con otros tipos y buscar sinergias. Esta función también sería capaz de crear eco-parques industriales virtuales que todavía no tienen entidad.

Además permite introducir flujos de una empresa real y buscar sinergias entre las entidades a través de los tipos de actividad introducidos en la base de datos, es decir, que residuos son emitidos por una industria concreta y que materias primas requiere.

Permite realizar dos tipos de consulta:

- Buscar posibles intercambios entre tipos de actividad y/o entidades contenidas dentro de la base de datos.
- Buscar posibles intercambios referentes a un tipo de flujo identificado.

También permite vincular una materia con la industria que la produce como residuo.

La búsqueda de sinergias se hace por equivalencia de códigos o palabras, por eso a la hora de introducir un flujo, para luego poder establecer relaciones de simbiosis con otros flujos, es necesario caracterizarlos, esto se consigue a través de dos palabras clave las cuales representan sus características físicas, químicas o funcionales. Estas palabras clave se pueden elegir de una lista desplegable que se proporciona o es la propia persona la que introduce nuevos códigos o características.

El resultado se puede apreciar en la siguiente figura, en ella se muestra un ejemplo de algunas de las posibles sinergias identificadas por la base de datos FAST. En este caso se han centrado en un área objetivo o eco-parque industrial con las empresas que ya existen dentro de los límites y con las que están fuera de los mismos. Los cuadros sombreados identifican a las empresas “ancladas” que pertenecen al eco-parque, los cuadros en líneas discontinuas representan a empresas situadas en los alrededores, fuera de las instalaciones y que pueden participar del intercambio y los demás cuadros representan empresas que pueden estar situadas en un intervalo en torno a las 10 hectáreas.

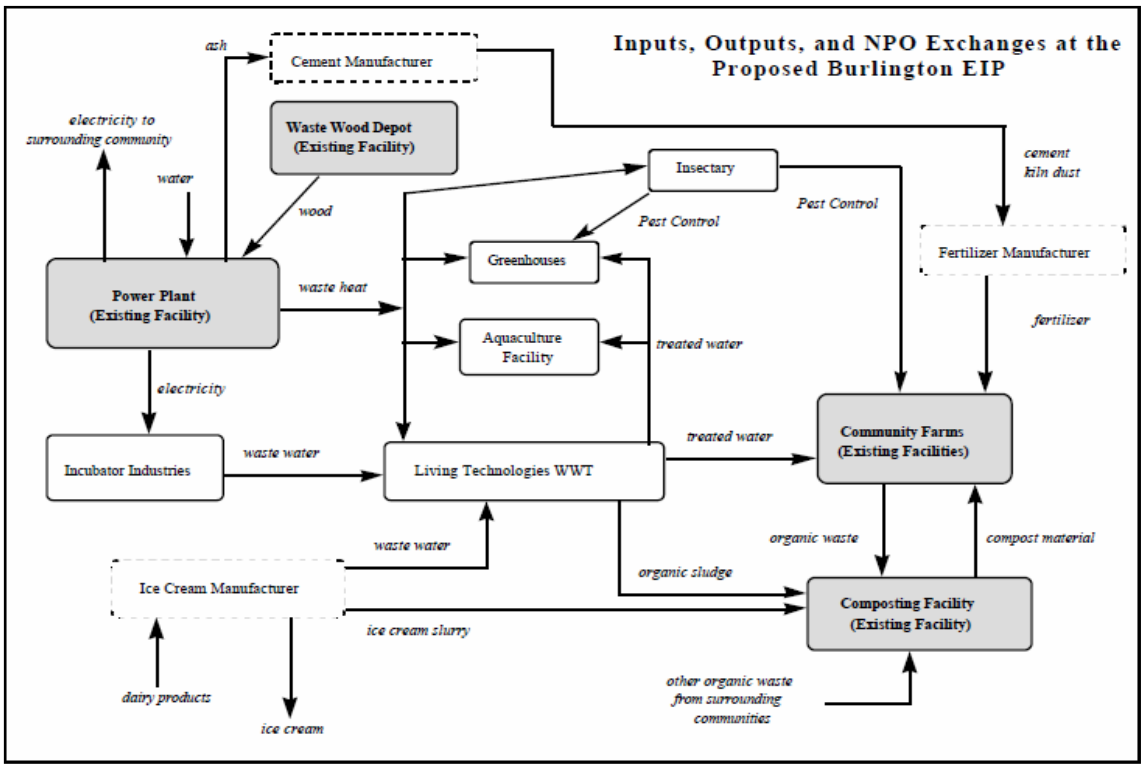


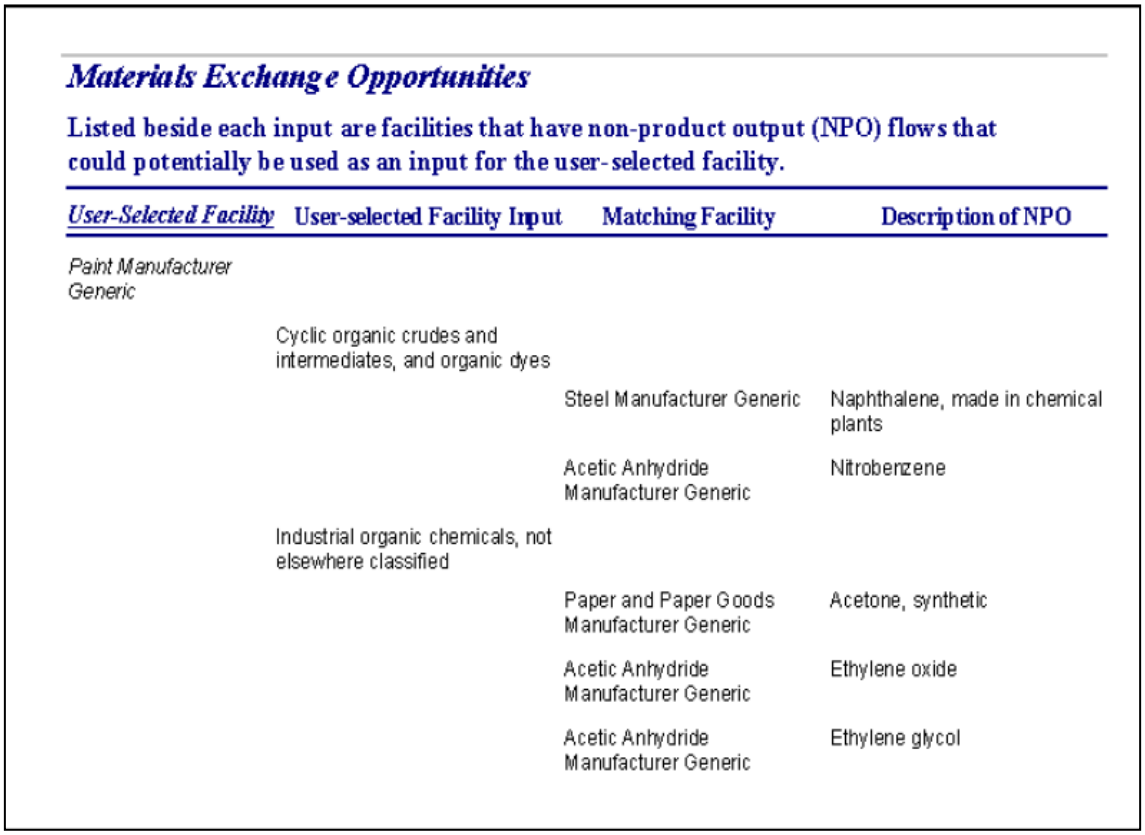
Figura 19. Diagrama de flujos entre empresas en un área localizada [31].

La base de datos FAST fue conectada durante un periodo de tiempo a una combinación de modelos de optimización de actividades de sinergia (Diet: Designing Industrial Ecosystems Tool) y modelos de análisis de factibilidad de intercambio (Reality: Regulatory Economics and Logistics Tool). Este grupo de herramientas ha sido utilizado por Devens industrial ecology Project (Massachusetts) [30], Burlington (Vermont, EEUU) [31], y Boston eco-industrial projects [29].

Limitaciones de la herramienta:

- Presenta ciertas limitaciones basadas en la utilización de perfiles de actividad.
- Se considera demasiado complejo a la hora de utilizarlo por usuarios no expertos.
- Limitación en los resultados por la utilización del sistema de codificación de cada flujo utilizando palabras-clave. Además la libertad para escoger el tipo de

código en el despegable puede producir pérdida de información, en él existen mezclados códigos numéricos y alfanuméricos, sin definir muy bien la nomenclatura o significado de los mismos.



Materials Exchange Opportunities

Listed beside each input are facilities that have non-product output (NPO) flows that could potentially be used as an input for the user-selected facility.

User-Selected Facility	User-selected Facility Input	Matching Facility	Description of NPO
Paint Manufacturer Generic			
	Cyclic organic crudes and intermediates, and organic dyes		
		Steel Manufacturer Generic	Naphthalene, made in chemical plants
		Acetic Anhydride Manufacturer Generic	Nitrobenzene
	Industrial organic chemicals, not elsewhere classified		
		Paper and Paper Goods Manufacturer Generic	Acetone, synthetic
		Acetic Anhydride Manufacturer Generic	Ethylene oxide
		Acetic Anhydride Manufacturer Generic	Ethylene glycol

Figura 20**. Figura en la que se muestra parte de la interfaz [30].**

2.5.2._ THE MATCHMAKER.

Bajo el concepto de *eco-parque industrial virtual* que altera el modelo Kalundborg, ya que permite a las empresas establecer intercambios sin la necesidad de estar próximas entre sí, Bechtel Company(EEUU) desarrolla en 1997, una herramienta concebida para servir de apoyo a la investigación de flujos de intercambio de materiales y energía independientemente del tamaño del territorio [32]. Está basado en la creación de un

proyecto de ecosistema que une empresas del territorio de Texas con empresas del territorio Mexicano de Matamoros.

El proyecto MatchMaker se apoya en una base de datos relacional, Access 97, en la cual los flujos de una variedad de sectores industriales se introducen. Los sectores industriales son codificados a través de un sistema similar al SIC code, que es el código de actividades industriales en los EEUU [32].

El objetivo fue desarrollar un servicio "universal de construcción" de eco-parques industriales, además de servir a las empresas y autoridades locales para desarrollar análisis de flujos sobre amplias zonas geográficas.

También se pretendía más adelante conectar la base de datos a un sistema de información geográfica y la creación de un alojamiento web. No obstante, existe poca información disponible para juzgar la eficacia e identificar con precisión los límites del mismo [29].

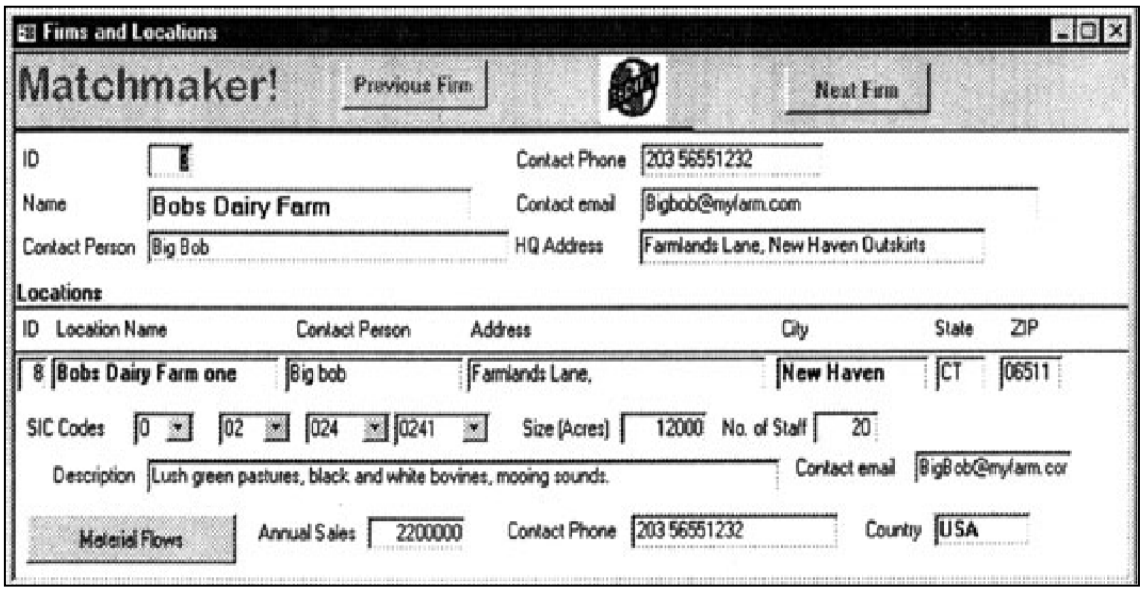


Figura 21.Interfaz de usuario [32].

2.5.3._ ISIS. (INDUSTRY AND INTER-SECTORIAL SYNERGIES).

La base de datos ISIS (Industrial and Inter-Sectorial Synergies) fue desarrollada por el departamento I+D de EDF. Está en Francés y usa lenguaje PostgreSql de gestión de base de datos. Está conectado a un sistema de información Geográfica (GIS), ArcGIS, el cual permite la creación de mapas de sinergias.

Como en FAST o Matchmaker, ISIS también contiene perfiles de actividad. Se han realizado modelos resumidos de Input/output para un gran número de sectores de actividad. En 2004 contenía resúmenes de más de 20 sectores de actividad. Cada una está representada por código NAF (Nomenclatura Francesa de actividades).

Como en el caso anterior el uso de perfiles puede resultar bastante atractivo pero existe una seria limitación que es la imprecisión. Una empresa puede declarar que tiene un nivel de actividad de perfil A mientras que la realidad muestra que tiene muy pocos flujos dentro de este perfil.

La división NAF y su uso administrativo no han sido concebidas para la búsqueda de sinergias eco-industriales ya que:

Primero: las empresas solamente declaran su actividad principal. El código escogido no tiene en cuenta actividades secundarias.

Segundo: esta declaración de actividad principal entra en juego cuando la entidad está creada. Por lo tanto esta última podría evolucionar en el tiempo y el código NAF inicial podría rápidamente ya no corresponder a la actividad principal. Sin embargo si se pueden llevar a cabo actualizaciones.

Tercero: La nomenclatura no se divide homogéneamente y un código puede estar dedicado a una actividad muy precisa o puede cubrir un gran número de actividades muy variadas.

El uso de los datos precisos procedentes de las empresas es por lo tanto mucho más seguro y eficiente que el uso de datos sectoriales.

ISIS usa un método de normalización de flujos basado en reglas simples. Los flujos son introducidos en singular, sin abreviaturas, usando su nombre completo y en una taxonomía o jerarquización de 3 niveles la cual contiene más de 400 tipos de flujos.

Estas reglas ayudan a crear una estructura pero siguen existiendo dos problemas:

Primero: los flujos se describen de forma general o combinada sin tener en cuenta sus componentes que si podrían ser reutilizables. Un flujo de bronce puede ser interesante en sí mismo, pero también lo podría ser el cobre y el estaño que contiene.

Segundo: es necesario que existan patrones discriminatorios a la hora de formalizar flujos, como puede ser la forma. Por ejemplo habrá empresas que trabajen con placas de aluminio que les resulten poco interesantes o inútiles las virutas o latas de este material.

A la hora de tener en cuenta estos dos problemas, se intentó introducir una característica en la descripción de los flujos que fue: *"origen de" o fuente de",* es decir el flujo de cobre sería fuente de estaño y una barra de acero es origen de acero.

A pesar de ello, este nuevo concepto sigue manteniendo toda la dificultad a la hora de entender como describir un flujo, por lo tanto la base de datos se convierte en una herramienta para gente experta, difícil de manejar por la gente que es parte involucrada en la zona de estudio.

2.5.4._ PRESTEO.

La empresa que implementa PRESTEO es Systèmes Durables, que surge a partir de un desarrollo de 5 años en la Universidad de Troyes (Francia). Es una empresa que ofrece transferencia de tecnología y habilidades de investigación a la industria, las comunidades y las cámaras. Su actividad se estructura en torno a cuatro áreas de intervención:

- La Gestión Ambiental (ISO14001, los procedimientos ICPE,…).
- EI (Estudio del metabolismo, el enfoque de la ecología de flujo de bucle territorial)

  La evaluación ambiental (análisis de ciclo de vida, la huella de carbono, de visión del medio ambiente)
- Eco-diseño

Presteo fue desarrollado por LGCD en 2005 y la primera versión se comercializó en 2006. Usa lenguaje MySQL y está basado en la herramienta cliente-servidor accesible mediante una conexión simple de Internet, el servidor recibe peticiones de un cliente las cual procesa y devuelve unos resultados.

El objetivo era elaborar una herramienta eficiente en el tiempo y que fuera explotada por todas las entidades participantes, por ello su metodología debería ser clara y fácil de asimilar. Se integran las preguntas que surgieron durante el uso de las herramientas FAST e ISIS.

Dos tipos de objetos coexisten: el flujo y sus componentes. El flujo corresponde a los flujos de material o flujos de energía que entran o salen de forma específica en los procesos de una empresa o industria. Un ejemplo de flujo podría ser “lodos de hidróxido

de cobre" y de componente el cobre. La designación de flujos tiene que ser elegida de forma prioritaria en el adjunto. Un flujo a menudo está compuesto de varios "componentes".

Componente: los cuales se corresponden a los elementos básicos que componen un flujo. La designación de componentes ha de ser obligatoriamente escogida de la taxonomía del desplegable. Sin embargo se pueden proponer nuevos tipos al administrador.

Ejemplo de flujo "disolvente referencia XYZ" y componentes isopropanol, metanol y tricloroetileno.

La empresa o industria quien introduce sus flujos de entrada y salida tienen una cierta libertad con respecto a la formalización de los mismos, ellos pueden tener en cuenta la forma u otra particularidad del flujo. Los componentes son, sin embargo, escogidos de una lista en la que se ha establecido una taxonomía o jerarquía determinada que comprende 1400 componentes [29]. Un administrador garantiza el cumplimiento de las normas y corrige errores en los datos de entrada.

Esto permite dos niveles de búsqueda de sinergias: una para los flujos y otra para sus componentes.

Presteo no contiene datos sectoriales. La creación de modelos de perfiles de actividad y su continua actualización ya suponen un considerable trabajo. Es por lo tanto explotable por un experto para la puesta en marcha de proyectos o por los propios participantes (industrias, instituciones, etc,…) de un proyecto.

Cada usuario puede modificar sus datos de entrada-salida cuando surjan nuevas evoluciones en los procesos industriales, por lo tanto los datos se actualizan en tiempo

real y la búsqueda de sinergias de mutualización y sustitución pueden realizarlas en cualquier momento los propios participantes.

Para explotar este potencial el proyecto “Comethe” se puso en marcha, en siete áreas piloto con la participación de más de 1000 empresas.

El software Presteo facilita la recopilación de los datos de entrada y salida y la identificación de sinergias a través de intercambio [29].

Se pueden introducir coordenadas de las empresas para su posterior conexión a un SIG y la creación de mapas, además la variable distancia puede resultar importante a la hora de determinar la viabilidad de una sinergia.

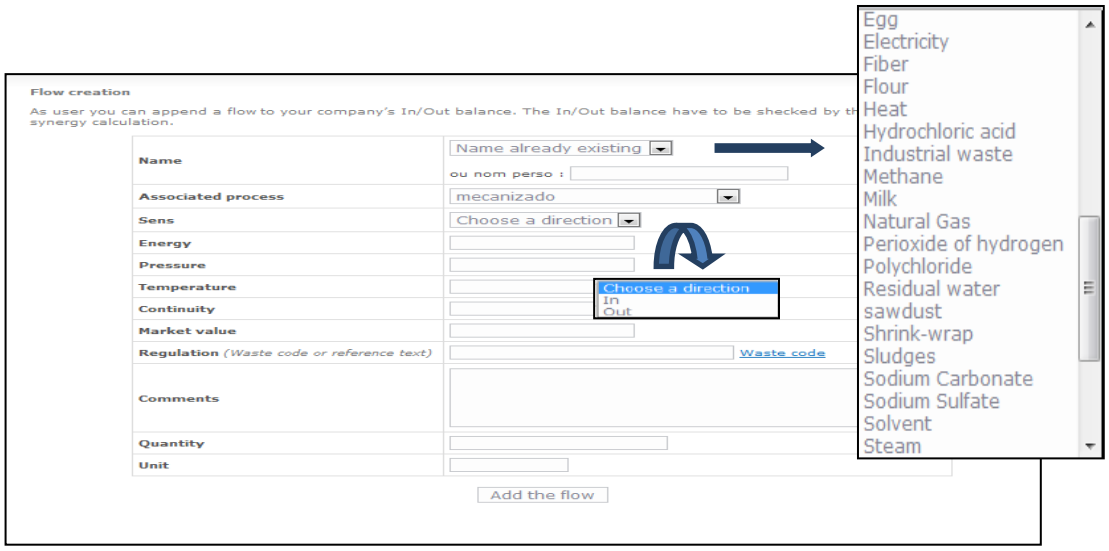


Figura 22. Demo del programa PRESTEO ©.

2.5.5._ A WEB-GIS TOOL FOR INDUSTRIAL SIMBIOSIS. (MASSARD Y ERKMAN).

En 2004 se inicia un proyecto de SI en el cantón de Ginebra, cuyo objetivo era proporcionar soluciones eficientes a las empresas para reducir el consumo de recursos a la vez que incrementan su competitividad. Esta aplicación surge como un instrumento

más del proyecto y por la necesidad de poseer una herramienta que permita la visualización de actividades económicas y apoyo a la detección de sinergias industriales.

Ilustraron el desarrollo de una web basada en SIG (web-GIS). Esta web-GIS ofrece soporte a ingenieros y planificadores, la cual les permite: la detección y visualización de potenciales intercambios, evaluación de técnicas y viabilidad geográfica, la identificación de nuevas empresas y el descubrimiento de nuevas ubicaciones sobre la base de consideraciones de flujo de materiales [33].

La herramienta fue diseñada utilizando tres tecnologías diferentes:

- Se utiliza un lenguaje de base de datos relacional de código abierto como es MySQL, para crear la base de datos de materiales y flujos de energía.
- En segundo lugar, los datos espaciales fueron recogidos y almacenados en un MapServer. (La mayoría en formato vectorial).
- Finalmente, se utilizó lenguaje PHP para crear la interfaz de usuario. PHP permite la comunicación entre el usuario y la base de datos así como con el MapServer. El servidor extrae la información de la base de datos y construye un mapa con la fusión de los resultados obtenidos en las consultas a la base de datos y de la selección de las capas espaciales. El siguiente paso es enviarlo a la interfaz del usuario.

El sistema web-GIS dedicado a la optimización del flujo de material y la SI necesita numerosos tipos de datos espaciales y no espaciales. Para este proyecto colaboraron diferentes entidades como el Sistema de información territorial (SIGT), que proporcionó numerosos datos georreferenciados tanto ráster (ortofotos, imágenes, mapas y escalas de mapas) como vectoriales (usos de la tierra, registros de tierras, edificios, etc,…) y el

departamento de empleo del estado de Ginebra (DES), dando información no espacial sobre actividades económicas, código de actividades (NOGA), número de empleados, código comercial y posicionamiento global.

Sin embargo las datos del SIGT y DES no son suficientes para detectar sinergias industriales y aconsejar a los planificadores en optimización de flujos de materia. Por ello este proyecto recoge una gran información de datos de entrada/salida de material, agua y flujos de energía de 32 de las mayores empresas consumidoras de recursos en el sector secundario así como datos de la literatura.

También incluye información de procesos industriales, parámetros físicos y químicos y lista de residuos y tecnologías de tratamiento de los mismos [33].

2.6._ CONCLUSIONES Y APORTACIÓN PROPIA.

A pesar de la existencia de herramientas creadas para la detección de sinergias, es difícil descubrir cuál puede ser realmente su potencial al no poder disponer de pruebas factibles ni resultados para valorar su utilidad, además como indica Isenmann [10], en la siguiente tabla muchas de estas herramientas están anuladas o en manos de los desarrolladores.

No.	Environmental ICT application & country of development	Country & geographical scale	Status	Availability
1	Knowledge-based decision support-systems New Zeeland and Canada	Trinidad Industrial park	Completed	None
2	Designing industrial ecosystems toolkit USA	Burlington Vermont, USA Industrial park	Cancelled	Public, reportably unusable, requires MS Office 95
3	Industrial Materials Exchange Tool USA	City of Brownsville, USA; Tampico, Mexico City	Cancelled	None
4	Dynamic Industrial Materials Exchange Tool USA	Greater Yellowstone-Teton region, USA Region	Completed	None
5	MatchMaker! USA	USA, Vietnam, United Arab Emirates, Saudi Arabia City	Completed	None
6	Industrial Ecology Planning Tool USA	USA Industrial Park	Completed	Source code available, requires ArcView GIS
7	WasteX Commonwealth Caribbean, Jamaica, Australia	Jamaica Nation	Completed	None
8	Industrial Ecosystem Development Project USA	USA Region	Cancelled	None
9	Residual Utilization Expert System USA	USA City & State	Completed	Available to the original project funding organizations, requires level 5 software shell
10	Institute of Eco-Industrial Analysis Waste Manager Germany	Germany Region	Operational	Reporting software; purchase and demo available over the web – analysis and optimization systems under development
11	Industrie et Synergies Inter-Sectorielles and Presteo France	France, Switzerland Region	Operational	In use by the developer
12	Core Resource for Industrial Symbiosis Practitioners UK	UK Nation	Operational	Restricted to NISP participants and practitioners

Tabla 6. Estado actual de diferentes herramientas ICT [10].

A partir de los artículos referidos en el proyecto se pueden observar algunos puntos débiles que ofrecen las herramientas estudiadas. Se observa que la mayoría están basadas en perfiles de actividad, lo cual puede causar ciertas limitaciones, como puede ser la imprecisión a la hora de declarar por parte de una empresa un cierto tipo de actividad en la que sus flujos son minoritarios.

En resumen se podrían concretar en las siguientes:

- Utilización de perfiles de actividad a la hora de seleccionar los flujos.

- En general muchas de ellas se consideran demasiado complejas a la hora de utilizarlo por usuarios no expertos.
- Limitación en los resultados por la utilización de un sistema de codificación de cada flujo, en el que se usan “palabras-clave”. En él existen mezclados códigos numéricos y alfanuméricos, sin definir muy bien la nomenclatura o significado de los mismos.

En una de las pocas herramientas en las que se dispuso de demo en concreto Presteo, se pudieron sacar las siguientes conclusiones:

La herramienta permitía dos tipos de búsqueda:

- Entre tipos de actividad o entidades introducidas en la base de datos.
- Búsqueda de posibles intercambios concernientes a un tipo de flujo identificado.

La herramienta está hecha para buscar sobre el primer criterio, la base de datos tiene diferentes perfiles de actividad. El usuario mete su perfil, si está almacenado te informará de las empresas que tienen ese perfil y si no está buscará por similitud de palabras aunque este aspecto no lo aclara. Ello probablemente condicione al usuario a no complicarse la vida y escoger un perfil que ya esté metido dentro de la base de datos aunque las entradas y salidas pertenecientes a ese perfil no se correspondan en su totalidad con las suyas, lo que puede resultar bastante impreciso.

La segunda opción que ofrece es la búsqueda a través de un determinado flujo, para ello cada flujo necesita ser codificado con la ayuda de dos palabras clave que representan alguna característica física, química o funcional. Cada palabra clave puede ser escogida de una lista o creada por el usuario. La eficacia de esta opción se basa en la cantidad de

información almacenada en la base de datos, si la herramienta no está lo suficientemente alimentada la herramienta es inútil.

También presenta cierta limitación en los resultados por la utilización del sistema de codificación atribuido a cada flujo en el que se usan "palabras-clave". La libertad para escoger el tipo de código en el despegable puede producir pérdida de información, en él existen mezclados códigos numéricos y alfanuméricos, sin definir muy bien la nomenclatura o significado de los mismos. Si un consumidor tiene un flujo que codifica (A,B) y un productor del mismo flujo decide hacerlo con (X,Y) la sinergia de sustitución ya no será identificada. Es muy impreciso porque cada sector tiene su jerga industrial o cada individuo puede llamar de una forma diferente o tener una percepción diferente de un flujo.

La conclusión final es que se están consiguiendo realizar herramientas destinadas a la detección de sinergias, cada departamento las desarrolla utilizando diferentes estrategias, pero como he dicho anteriormente juzgar o conocer su funcionamiento resulta bastante difícil, ya que algunas están anuladas y sólo existe una somera referencia, otras incompletas o en manos de los programadores y otras restringidas a organizaciones. Por este motivo nos hemos basado a la hora de hacer el diseño de la aplicación en el conocimiento del sector industrial de nuestra área de estudio, identificando sus necesidades a partir del proyecto de Investigación realizado por el grupo INGEPRO que ha mostrado la idiosincrasia del tejido industrial junto con sus debilidades y oportunidades para crear una aplicación que pueda servir para facilitar la simbiosis industrial entre las empresas y mejorar el sistema de gestión medioambiental. Para ello se diseña una herramienta que permita al usuario disponer de libertad para escoger sus materias primas de una lista sacada del código CPA 08 (Clasificación de

productos y actividades), que es una macroclasificación de productos que constituye la versión europea de la Clasificación Central de Productos (CPC), elaborada y recomendada por la ONU y adoptada a nivel nacional [34].Al igual pasa con los residuos, cuya lista pertenece al código LER (Lista Europea de residuos) [35], lo cual nos ofrece la ventaja de su posible utilización en un ámbito europeo, ya que la codificación no es a nivel nacional. Independientemente del sector al que pertenecen, se establece un *matching* entre materias y residuos en base a estudios y bibliografías consultadas. El campo "*sector industrial*" se utilizará para disponer de datos estadísticos o gráficos y realizar análisis, no para limitar al usuario a tener asignados de antemano unos productos en función del sector escogido.

También me permite saber que empresas generan los mismos residuos, dato importante a la hora de establecer recogidas conjuntas, realizar tratamientos, optimizar el transporte o ubicar instalaciones comunes.

La programación de la base de datos se ha hecho de manera que cuando una empresa consulta las opciones de intercambio que tiene de una materia prima, le pueda aparecer su propia empresa, si ella misma está generando un residuo que se puede sustituir. Esta opción es muy importante porque puede ahorrar costes de tratamiento y transporte de ese residuo y al mismo tiempo reducir la tasa de generación de residuos que tiene la empresa, lo que puede constituir un mayor certificado de calidad para la misma y un beneficio para el medio ambiente.

Además no exige un nivel de experto para manejar la aplicación ni de limitaciones de licencias o software, puesto que se persigue que sirva también como herramienta divulgadora de la EI a través de los propios usuarios o la administración, haciendo que

ellos sean los divulgadores a nivel de foro, en el que puedan exponer sus opiniones respecto del uso de la aplicación, destacando sus ventajas y debilidades.

A pesar del desarrollo de TIC destinadas a la gestión medioambiental, a nivel local e incluso nacional no se ha encontrado ninguna aplicación similar, por lo tanto constituye una herramienta innovadora que se pone a prueba en un área de estudio con el objetivo de facilitar la simbiosis entre las empresas y crear nuevos sistemas de gestión y planificación, con el deseo de su expansión futura a un ámbito más amplio que el regional.

3._ METODOLOGÍA.

3.1._ INTRODUCCIÓN.

El objetivo de este trabajo cabe recordar que era presentar una nueva aplicación de gestión medioambiental que sirviera para un mejor uso de los recursos y que pudiera dar apoyo en la toma de decisiones sobre planificación industrial y territorial. Se busca crear un modelo dirigido a la búsqueda de sinergias que favorezcan el establecimiento de redes de intercambio en áreas industriales ya existentes, reduciendo las corrientes residuales y alcanzando mejoras económicas. A nivel de diseño se buscará una estructura basada en lenguajes de código abierto y que presente un carácter de universalidad, es decir, libre, accesible para todos los usuarios y que garantice la participación de múltiples agentes o entes simultáneamente. Para ello se ha buscado una metodología que permita alcanzar dichos objetivos y documentar todo el proceso de diseño, programación e implementación del sistema. En este capítulo se detallan los pasos seguidos para el desarrollo de la aplicación. La gestión medioambiental y más aún, proyectos innovadores de Simbiosis Industrial (SI) sobre el que se basa este proyecto implican ciertas peculiaridades que lo hacen más complejo, y requieren en alguna etapa de su desarrollo el uso de tecnologías de la información y de la comunicación (TIC). Estas herramientas aplicadas al campo de la Ecología Industrial (EI) buscan como objetivo analizar procesos de información, dar apoyo a la gestión ambiental, y desarrollar sistemas informáticos relacionados con el medio ambiente en el sentido más amplio.

Nuestra aplicación va a surgir de la necesidad de utilizar múltiples herramientas informáticas que sólo pueden cumplir los requisitos de manera combinada, ya que de manera aislada presentan debilidades y carencias para el propósito del proyecto.

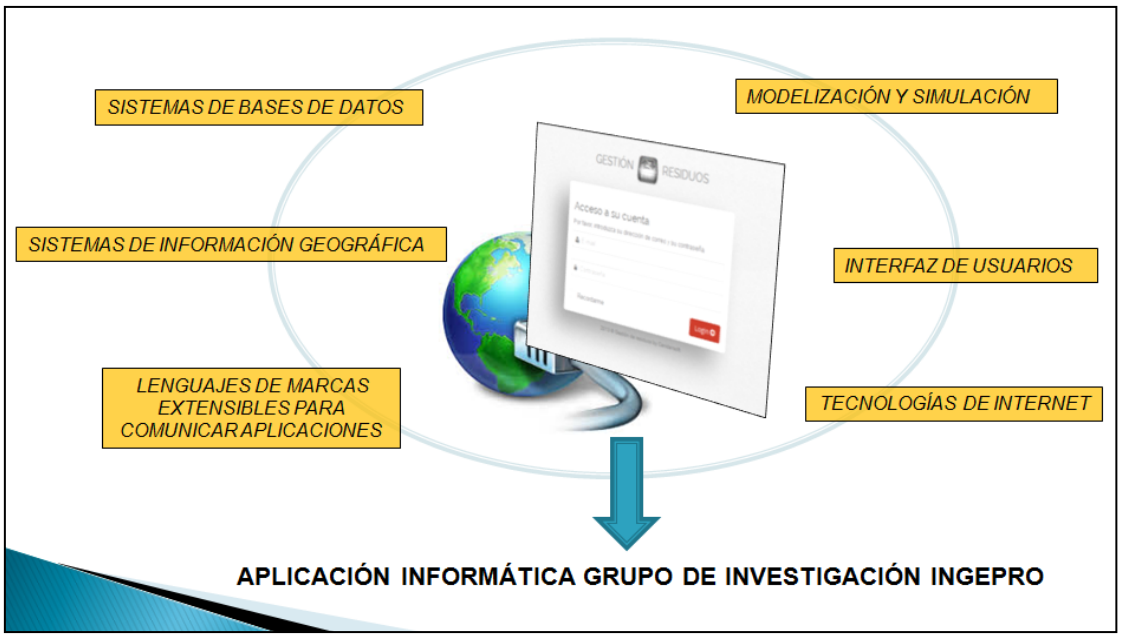


Figura 23**. Integración de varias tecnologías TIC para crear nuestra aplicación [Fuente propia].**

Se quiere crear una aplicación cliente-servidor que tenga centralizada la información donde muchos nodos puedan conectarse a él y que además permita:

- La conexión a múltiples usuarios.
- Conexiones remotas.
- Que permita replicación. (Copiar y mantener actualizados la información en varios nodos de bases de datos).
- Que permita almacenar grandes cantidades de información (Muchos GB).

Cuando se utiliza un servicio en Internet, como puede ser consultar una base de datos, transferir un fichero o participar en un foro de discusión, se establece un proceso en el que entran en juego dos partes. Por un lado, el usuario, quien ejecuta una aplicación en un ordenador local: *el denominado programa cliente*. Este programa cliente se encarga de ponerse en contacto con el ordenador remoto para solicitar el servicio deseado. El ordenador remoto por su parte responderá a lo solicitado mediante un programa que ejecutará, denominado *programa servidor*. Los términos cliente y servidor se utilizan

tanto para referirse a los programas que cumplen estas funciones, como a los ordenadores donde son ejecutados estos programas.

El programa o los programas cliente que el usuario utiliza para acceder a los servicios de Internet realizan dos funciones distintas. Por una parte, se encargan de gestionar la comunicación con el ordenador servidor, de solicitar un servicio concreto y de recibir los datos enviados por éste; y por otra, es la herramienta que presenta al usuario los datos en pantalla y que le ofrece los comandos necesarios para utilizar las prestaciones que ofrece el servidor.

Nuestra aplicación deberá reunir las características y comportamiento de este tipo de programas para dar respuesta a los objetivos marcados en nuestro proyecto

3.2._ ETAPAS DENTRO DEL MARCO METODOLÓGICO.

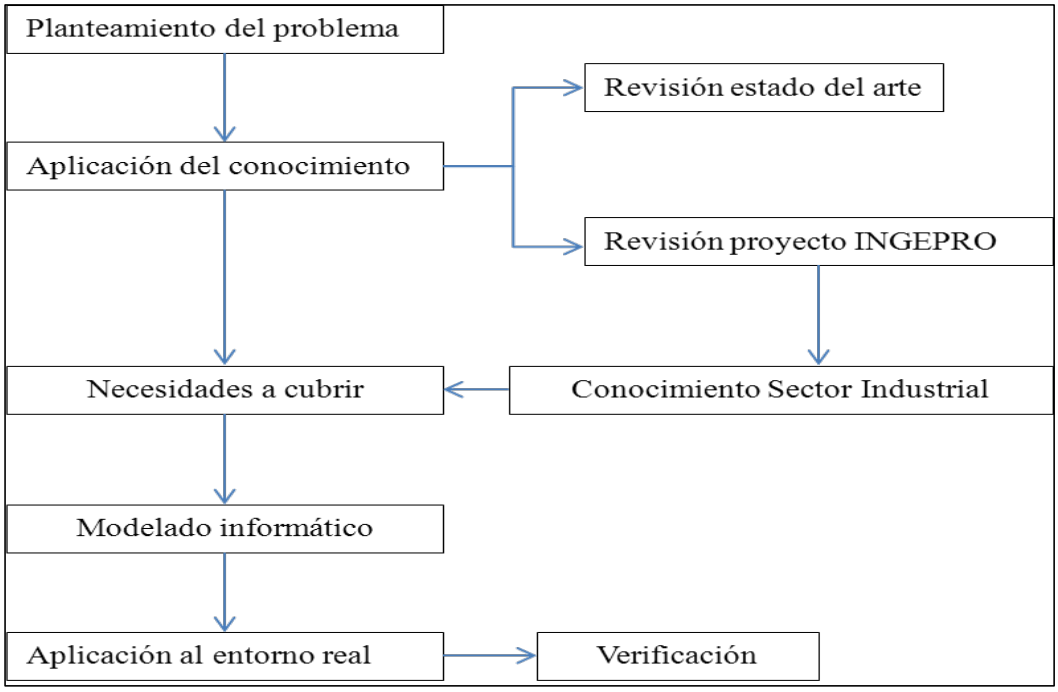


Figura 24. Esquema de las diferentes etapas a desarrollar dentro del marco metodológico [Fuente propia].

3.2.1._ Revisión de la literatura existente sobre EI, SI y TIC referentes a la detección de sinergias.

En esta fase se recopila toda la información sobre la teoría de EI y las TIC relacionada con la gestión medioambiental. Intentar entender una nueva forma de alcanzar el equilibrio dentro de un ecosistema, basándose en un ciclo cerrado de materia con un aporte de energía, en el cual la conexión entre los diferentes entes está tan bien lograda que no existe un flujo de materiales entre el sistema global y el exterior. Por otra parte, entender como las TIC y en concreto los SIG se han convertido en una pieza clave para analizar y gestionar la información, colaborar en la mejora de los sistemas de intercambio y en la creación de nuevos sistemas de gestión.

3.2.2._ Revisión de la información recogida en el proyecto *"Bases para el desarrollo de proyectos de simbiosis industrial en el municipio de Torrelavega"*.

Esta fase de la metodología resulta clave para entender el sector industrial de la zona de estudio, conocer si alguna forma de SI existe ya y cuál de las definiciones de SI puedan adaptarse mejor a la zona de estudio. En él se recogen datos de materias primas y residuos además de información sobre emplazamiento, infraestructuras, gestión de la zona industrial, asociacionismo empresarial y aspectos de gestión medioambiental. Ha consistido en la evaluación y selección de la información ya existente con el fin de determinar cuáles eran las variables más importantes a tener en cuenta en el diseño de la base de datos, es decir, que campos serían necesarios crear para alimentar y posteriormente analizar los resultados. De esta fase se ha obtenido la información técnica referente a la sustitución de materias primas por residuos que constituirá una de las tablas más importantes de la base de datos.

3.2.3._ Creación de la base de datos.

Su diseño resulta fundamental, ya que es el pilar de la aplicación sobre la que se almacenará, editará y analizará toda la información. El diseño de sus campos y la elección de las variables determinarán la viabilidad de los resultados.

Buscando cumplir los objetivos específicos marcados en la estructura del proyecto, es decir, programas de código abierto y concepto de universalidad, (libre, accesible y actualizable), se marca la línea de diseño, la búsqueda se centra en utilizar un lenguaje que permita ejecutar desde acciones básicas, como pueden ser insertar y borrar registros, actualizar información ó hacer consultas sencillas, hasta realizar tareas tan complejas como la aplicación lo requiera. Una base de datos o banco de datos es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su

posterior uso, estos datos son gestionados por programas denominados sistemas de gestión de bases de datos (SGBD). Un SGBD es un tipo de software muy específico dedicado a servir de interfaz entre la base de datos, el usuario y las aplicaciones que la utilizan. Estos motores se basan en conjuntos de algoritmos que permiten la gestión y optimización de las bases [37]. La mayoría de los motores basan sus búsquedas en lo que se llaman ID (identificadores) ya que facilitan la ordenación por medio del método burbuja, utilizando instrucciones de bases de datos, en lenguaje SQL [38], como puede ser:

- Búsqueda de información.
- Añadir, borrar, modificar: Tablas.
- Añadir, borrar, modificar: Campos.
- Realizar consultas.

El propósito general de los SGBD es el de manejar de manera clara, sencilla y ordenada un conjunto de datos que posteriormente se convertirán en información relevante para una empresa, además de ofrecer una interfaz Gráfica de Usuario y la capacidad de poder realizar consultas espaciales GIS con el que poder utilizar información georreferenciada.

En un primer momento se optó por el SGBD Microsoft Access pero debido a su limitación de uso local destinado a pequeños datos, a nivel académico ó tareas de escuela y la imposibilidad de cumplir los dos objetivos marcados anteriormente se decidió escoger un sistema de gestión de bases de datos objeto-relacional PostgreSQL distribuido bajo licencia BSD y con su código fuente disponible gratuitamente, cuya operatividad está destinado a uso profesional o sitios webs, permitiendo a miles de usuarios acceder a la base de datos simultáneamente [39].

Las ventajas que ofrece este sistema de gestión de base de datos es muy amplia, pudiendo destacar:

- Usa multiprocesos en lugar de multihilos para garantizar la estabilidad del sistema. (Quiere decir que un fallo en uno de los procesos no afectaría al resto y el sistema continuaría funcionando).
- Actualmente es la base de datos de código libre más avanzada y potente del mercado.
- Alta concurrencia **(**Mediante un sistema denominado MVCC-Acceso concurrente multiversión, por sus siglas en inglés). PostgreSQL permite que mientras un proceso escribe en una tabla, otros accedan a la misma tabla sin necesidad de bloqueos.
- Amplia variedad de tipos nativos. (Puede admite números de precisión arbitraria, texto de largo ilimitado).
- PostGIS. Extensión que añade soporte de objetos geográficos a PostgreSQL y permite realizar consultas SQL espaciales o mediante conexión a aplicaciones SIG.
- Destaca por su gran adaptación a diferentes entornos de desarrollo, permitiendo su interactuación con los lenguajes de programación más utilizados como PHP, Perl y Java y su integración en distintos sistemas operativos.

Una vez elegido el lenguaje de programación, el diseño de la base de datos se estructura en torno a cinco tablas relacionadas entre sí:

- Tabla 1: Empresas.
- Tabla 2: Usuarios.
- Tabla 3: Materias Primas.

- Tabla 4: Residuos.
- Tabla 5: Simbiosis.

La tabla 1 estará formada por la información correspondiente a las empresas, y tendrá los siguientes campos: nombre de la empresa, latitud, longitud, polígono, país, ciudad, mail y la capacidad de estar activo. El diseño de los campos se hace de manera que permita obtener la información suficiente para tener un inventario de las empresas y poder hacer análisis por sectores, por polígonos, incluso por comunidades.

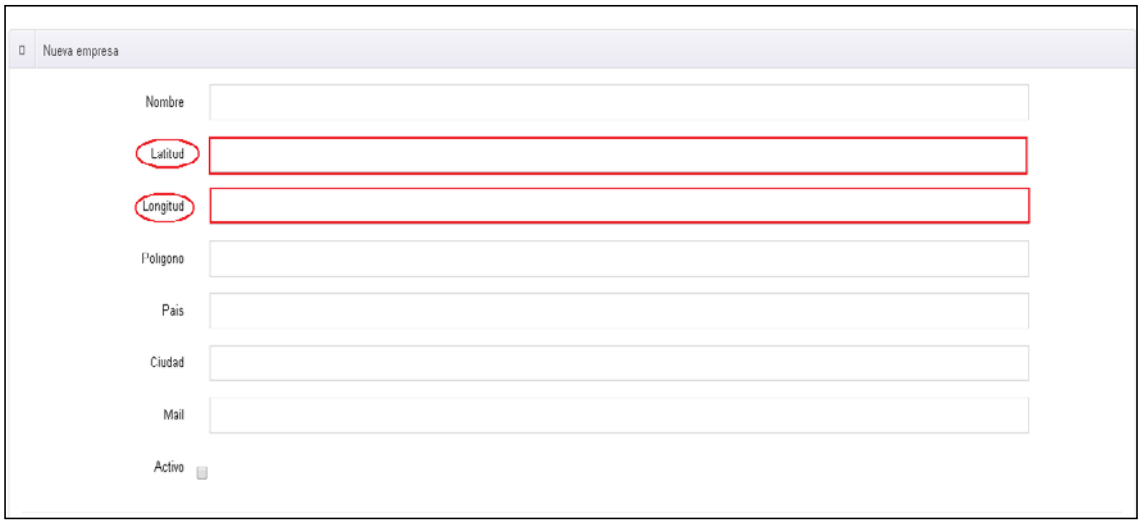


Figura 25. Campos de latitud y longitud en la base de datos [Fuente propia]

Cabe destacar dentro de este apartado dos campos de especial relevancia como es la longitud y la latitud, estos dos campos nos convierten la base de datos en espacial y nos permite georreferenciar la información a un mapa.

La tabla 2 es la de usuarios relacionada con la anterior y que tendrá el siguiente diseño de campos: nombre, apellidos, contraseña, repetir contraseña, mail, perfil de usuario y casilla de activación. Esta tabla tiene el objetivo de asignar a cada empresa que hemos incorporado un perfil de usuario. El usuario una vez dado de alta podrá acceder a la

aplicación a través del email y una contraseña creados anteriormente, por ello cobra importancia los campos de email y contraseña, que son campos encriptados.

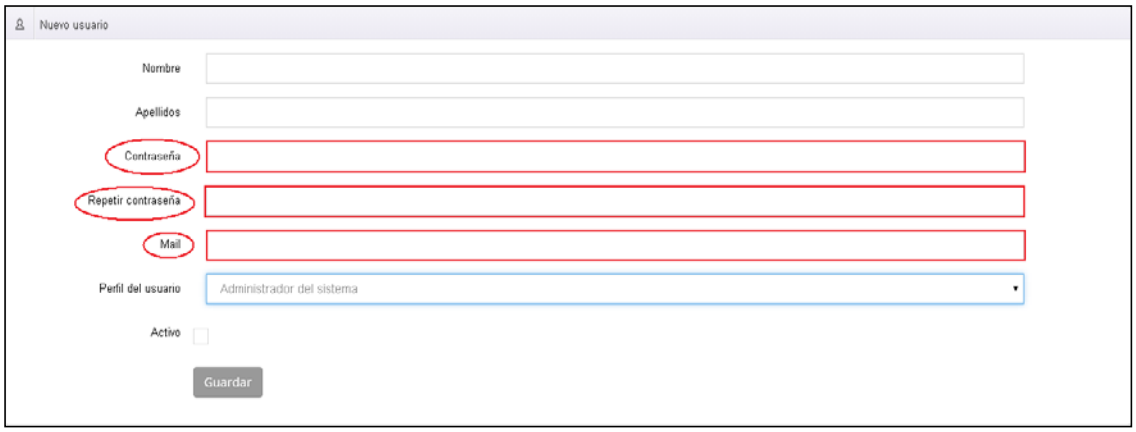


Figura 26. Visualización de los campos encriptados [Fuente propia].

Existirán tres niveles de acceso, que supone también tres grados de seguridad:

- Nivel Administrador.
- Nivel Empresario.
- Nivel Empleado.

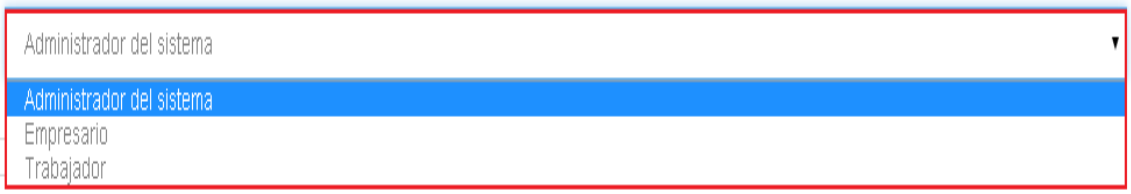


Figura 27. Niveles de seguridad [Fuente propia].

El nivel administrador da acceso a todas las empresas incorporadas, permite crear, editar y borrar cualquier empresa, asignar usuarios, crear materias primas, crear residuos y crear simbiosis.

El nivel empresario da acceso a su propia empresa, no permite acceder a datos de otras empresas, pero si editar datos propios, también permite asignar usuarios a su empresa y ver mapa de simbiosis con otras empresas.

El nivel de empleado permite todos los privilegios del nivel empresario pero sin la posibilidad de poder asignar un usuario a la empresa.

La tabla de empresas y usuarios están relacionadas, ya que a cada usuario se le asigna una empresa y un nivel de accesibilidad.

La tabla 3 estará formada por las materias primas que figuran en la clasificación de productos por actividad (CPA) que es una macroclasificación de productos que constituye la versión europea de la Clasificación Central de Productos (CPC) elaborada y recomendada por la ONU [34]. La versión CPA-2008 ha sido adoptada como clasificación nacional de productos en sustitución de la CPA-2002 [34].

La taba ofrece la posibilidad de incorporar nuevas materias como subproductos a su clasificación, su diseño de campos está formado por código CPA y clase.

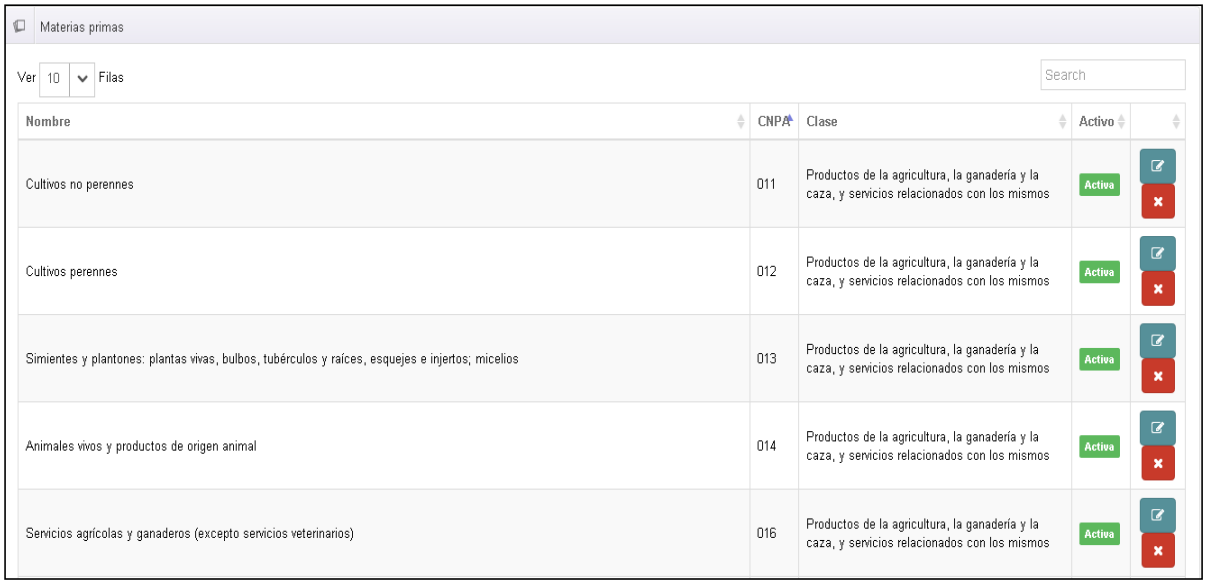


Figura 28. Clasificación materias primas [Fuente propia].

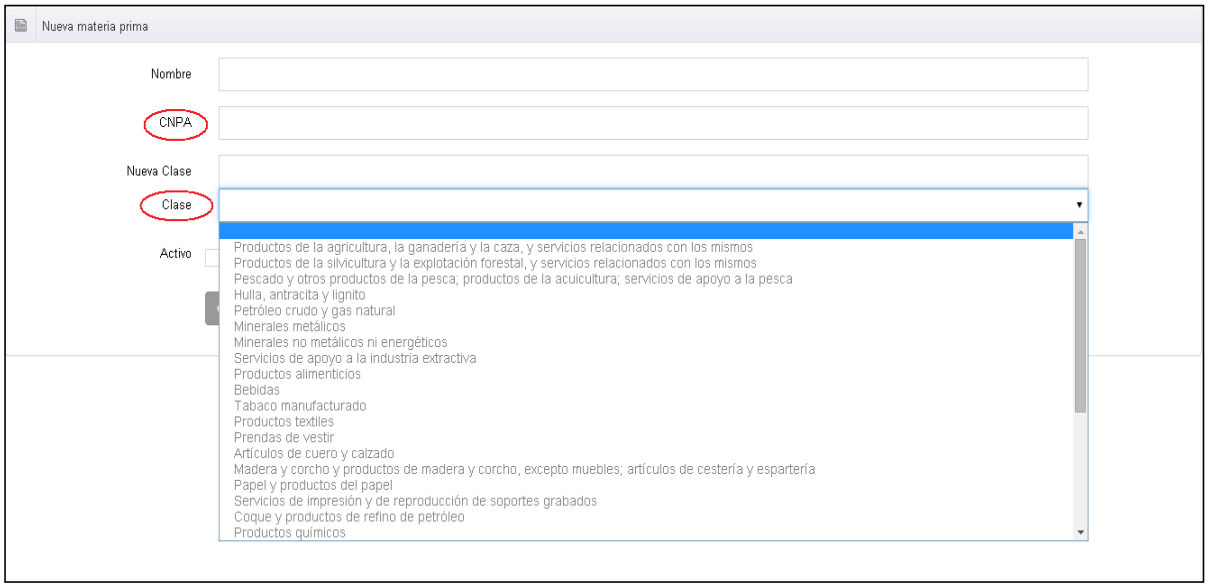


Figura 29. Opción de añadir nuevas materias primas [Fuente propia].

La tabla 4 estará formada por los residuos que integran el código LER (Lista Europea de Residuos) [35], con la clasificación de residuos no peligrosos (RNP) y peligrosos (RP).

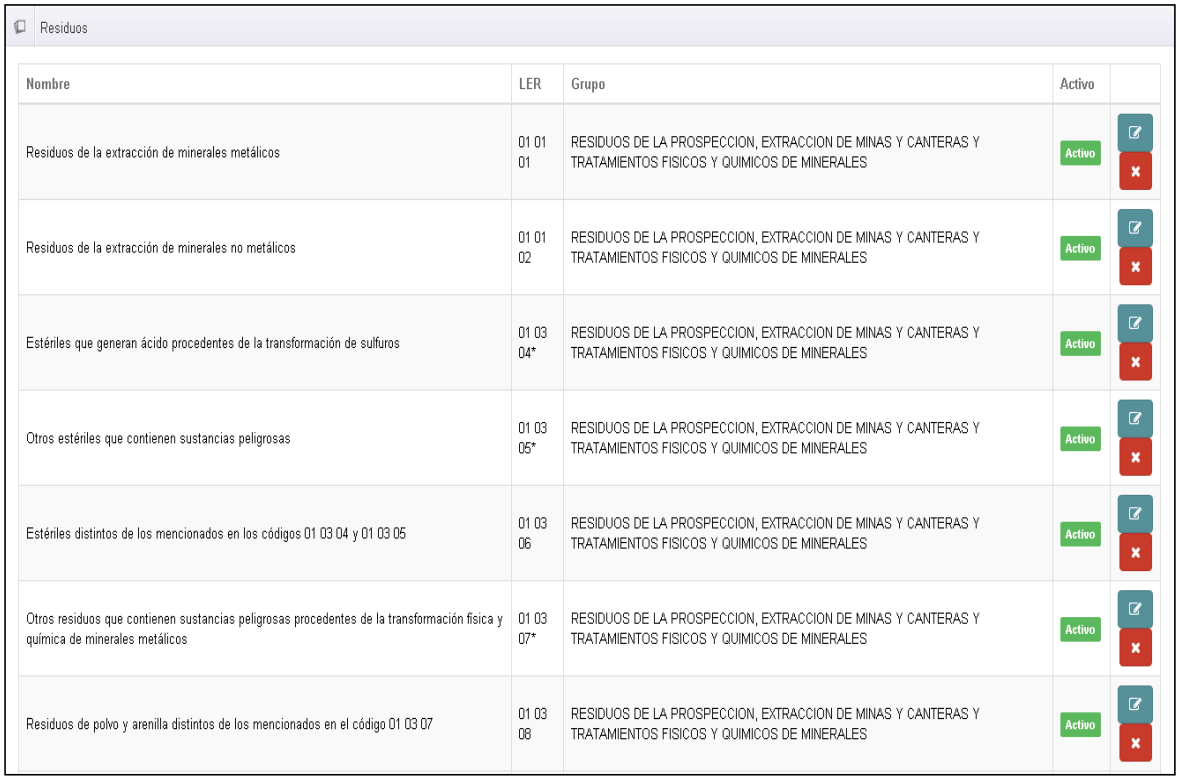


Figura 30. Clasificación de residuos [Fuente propia].

Esta tabla también ofrece la posibilidad de incorporar nuevos residuos, creando residuos dentro de un grupo que ya existe o cargando un nuevo grupo y añadiéndole nuevos residuos. Al igual que el anterior destacan los campos nuevo residuo, código LER y grupo.

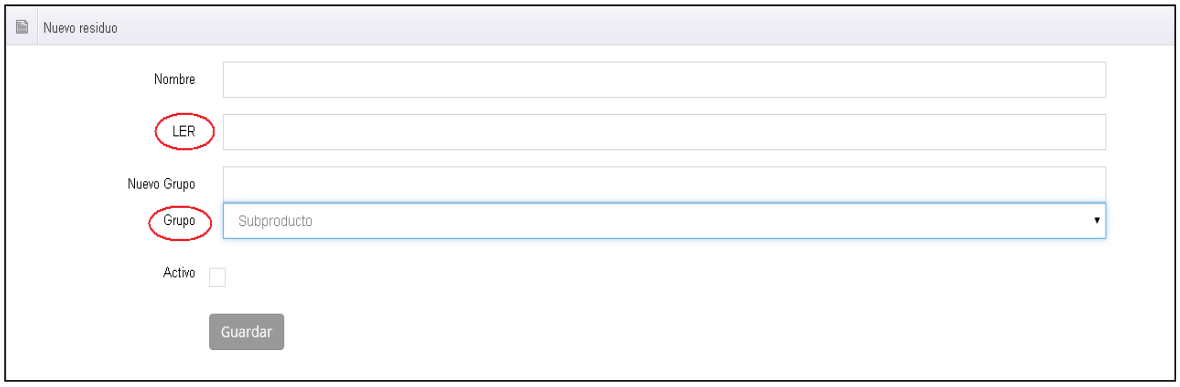


Figura 31. Opción de añadir nuevos residuo [Fuente propia].

La tabla 5 es la tabla de simbiosis, es decir, es una tabla creada por el grupo INGEPRO en el que se establece un "matching" entre materias primas y residuos potenciales de ser sustituidos. La información está sacada de bibliografía contrastada y se ha estudiado como una materia prima puede ser sustituida por un residuo para conseguir los mismos objetivos, ahorrar costes y mejorar los planes de gestión medioambiental de residuos.

Esta tabla resulta clave a la hora de detectar las posibles simbiosis que se puedan dar, ya que a partir de las materias primas y los residuos introducidos por las empresas, se realizan múltiples búsquedas de manera simultánea entre las cinco tablas creadas anteriormente, con el objetivo de detectar empresas que puedan mantener relaciones de simbiosis. Resulta fundamental no sólo a la hora de hacer el análisis de los resultados sino de la proyección de los mismos en el servidor de mapas [40].

Figura 32. Tabla de simbiosis [Fuente propia].

Además al igual que la herramienta resulta totalmente flexible ya que permite ir añadiendo nuevas relaciones de simbiosis entre materias primas y residuos con la propiedad de su actualización inmediata lo que implica que detectaría en el acto nuevas relaciones de intercambio entre las empresas sin tener que introducir nuevos códigos o cambiar identificadores [41].

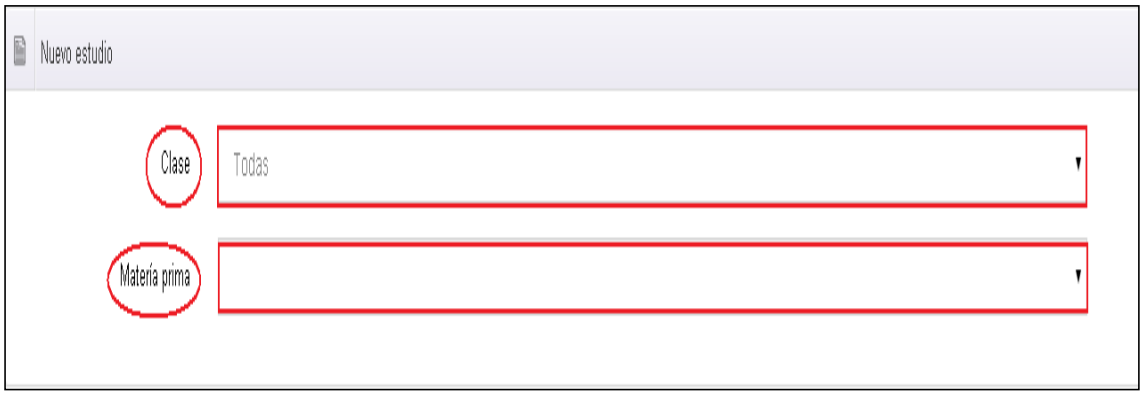


Figura 33. Posibilidad de incorporar nuevas relaciones de simbiosis [Fuente propia].

3.2.4._ Creación de la interfaz de usuario.

Siguiendo la línea de objetivos planteada, necesito crear una interfaz de usuario en un entorno de aplicación web que dé respuesta al criterio de universalidad, en la que se pueda conectar con facilidad la base de datos creada y a su vez que pueda unirse con un servidor de mapas. Para mi aplicación voy a escoger lenguaje PHP que es un lenguaje de programación de código abierto, especialmente adecuado para el desarrollo web de contenido dinámico y que puede ser incrustado en HTML. Es un lenguaje de código del lado del servidor, fue uno de los primeros lenguajes que se podían incorporar directamente en el documento HTML en lugar de llamar a un archivo externo que procesase los datos. El código es interpretado por un servidor web con un módulo de procesador de PHP que genera la página web resultante. [42]

En este punto es necesario recordar que la aplicación o web que hay que diseñar va a contener una base de datos en las que múltiples usuarios se van a conectar a la vez y en la que van a poder editar la información, añadiendo o borrando datos. Esto quiere decir que la página creada será una web dinámica, en la que su contenido no siempre es el mismo, éste puede variar en función de cambios que se produzcan en sus bases de datos, nuevas búsquedas y de muchos otros factores. Esto condiciona la elección del lenguaje, por ello una de las razones de escoger PHP es que me permite crear sitios dinámicos [43].

El esquema de cómo responde un servidor en cada uno de los casos sería el siguiente:

- Páginas estáticas: Petición-Respuesta.
- Páginas dinámicas: Petición-Procesado y preparación-Respuesta.

La ventaja de un sitio dinámico es la actualización inmediata del mismo, de lo contrario tendríamos que ir actualizando uno por uno a nuestros clientes para que en su aplicación les salieran los últimos datos. Esto se evita cargando la información en la base de datos, por ejemplo a través de un formulario que rellena una persona y que una vez realizado le da a guardar (comando que se programa), es decir envía la información nueva para que se guarde. De esta manera, cuando solicitamos la página web y el servidor consulte la base de datos, encontrará esta nueva información y mostrará nuestra página de forma distinta a como se veía anteriormente [44].

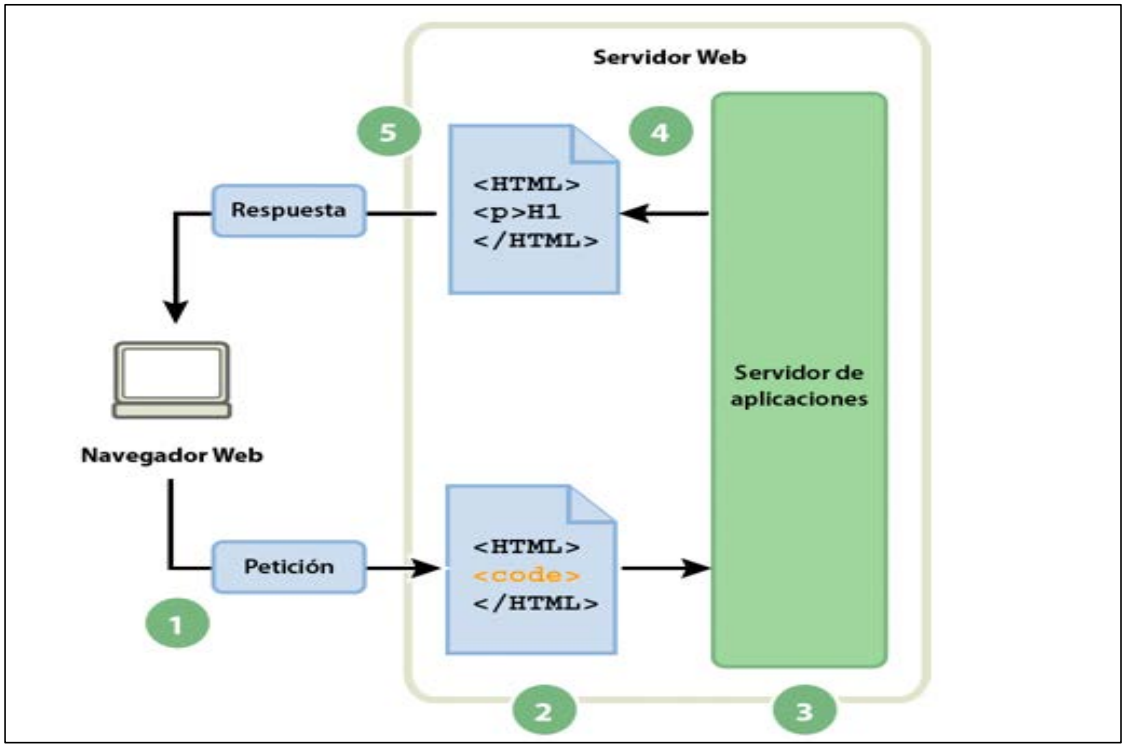


Figura 34. Esquema de procesamiento de páginas dinámicas [44].

1. El navegador Web solicita la página dinámica. 2. El servidor Web localiza la página y la envía al servidor de aplicaciones. 3. El servidor de aplicaciones busca instrucciones en la página y la termina. 4. El servidor de aplicaciones pasa la página terminada al servidor Web. 5. El servidor Web envía la página finalizada al navegador solicitante.

La conexión se ha realizado a través del puente de conectividad abierta a bases de datos (ODBC). Este sistema coloca una capa intermedia entre la aplicación y la base de datos,

aislando ambos. Esto significa que la ubicación de ésta puede diferir sin afectar en nada al funcionamiento del programa. Dado que ODBC dispone de controladores para multitud de formatos de bases de datos, queda abierta la posibilidad de migrar la implementación de dicho modelo a otro formato si nuevas necesidades así lo requirieran.

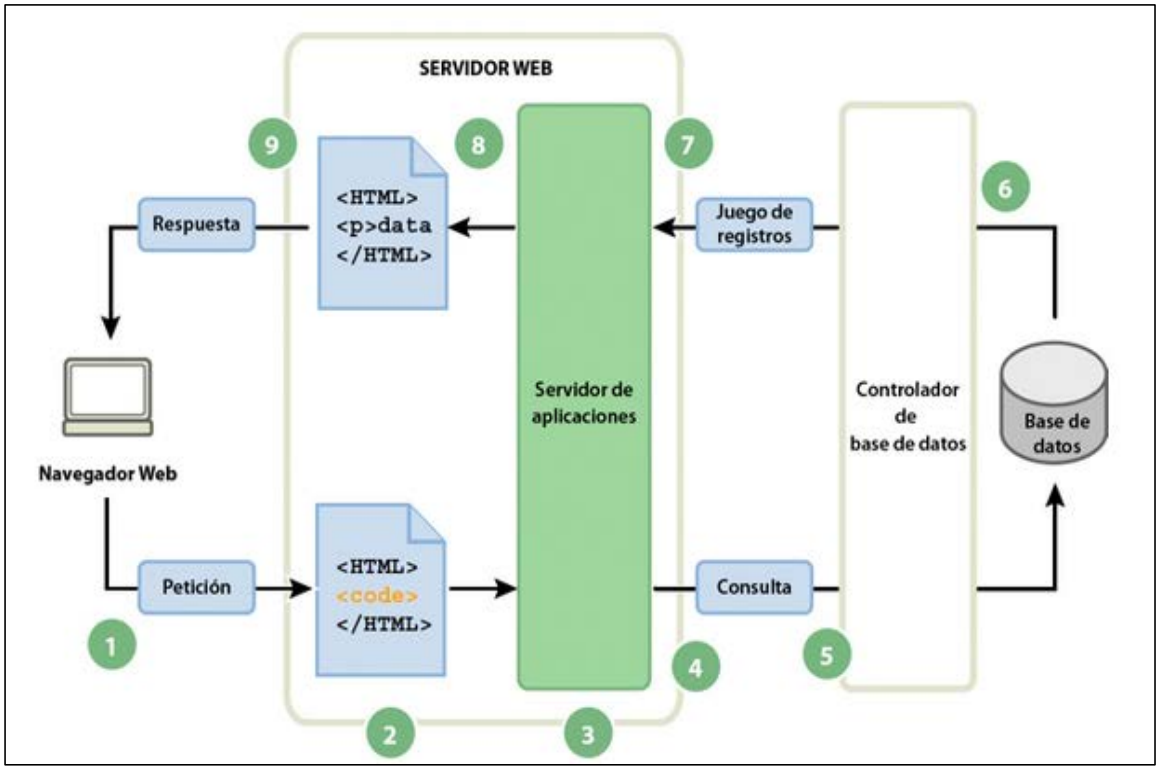


Figura 35. En el siguiente ejemplo se muestra el proceso de consulta de base de datos y de devolución de los datos al navegador [44].

1. El navegador Web solicita la página dinámica. 2. El servidor Web localiza la página y la envía al servidor de aplicaciones. 3. El servidor de aplicaciones busca instrucciones en la página. 4. El servidor de aplicaciones envía la consulta al controlador de la base de datos. 5. El controlador ejecuta la consulta en la base de datos. 6. El juego de registros se devuelve al controlador. 7. El controlador pasa el juego de registros al servidor de aplicaciones. 8. El servidor de aplicaciones inserta los datos en una página y luego pasa la página al servidor Web. 9. El servidor Web envía la página finalizada al navegador solicitante.

3.2.5._ Descarga de la información en servidores de mapas.

Trabajar con herramientas SIG proporciona un valor añadido indudable al programa inicial, ya que permite enmarcar geográficamente las obras realizadas, así como obtener consultas y productos que una base de datos convencional no es capaz de ofrecer.

Se quiere que los resultados obtenidos del primer análisis procedentes de la base de datos, en concreto, de las tablas de matching se proyecten en un servidor de mapas como puede ser el de Google Maps que se puede utilizar de forma sencilla y gratuita, para poder realizar un segundo análisis y comprobar la viabilidad de las sinergias detectadas.

Se podría incorporar directamente un servidor de mapas en la página web y señalar puntos en él, pero siguiendo la búsqueda de objetivos del proyecto se quiere por una parte que pueda realizar un análisis más exhaustivo de la información a la vez que su uso no suponga complicaciones para los agentes que lo utilicen. Para ello a partir de una API (Application Programming Interface), que es una interfaz de programación de aplicaciones, en este caso proporcionada por Google Maps, nos va a permitir incorporar datos e información útil sobre sus mapas, y presentarlos con ciertas opciones o funciones personalizadas desde nuestra aplicación. Además tanto la tecnología de servidor y de consulta de mapas e imágenes que ofrece Google Maps, así como sus librerías desarrolladas por Flex, permiten ofrecer gran calidad y eficiencia en el proceso de consulta y visualización.

Una API en sí es una “llave de acceso” a funciones que nos permiten hacer uso de servicios web provistos por un tercero, dentro de una aplicación web propia, de manera segura. Es decir una interfaz que sirva para dar acceso limitado a la base de datos de un servidor web, evitando que se conozca o acceda al propio código fuente de la aplicación original. Tiene la capacidad de comunicación entre componentes de software.

A partir del API se crea una función específica que se va a encargar de situar las marcas de los puntos geográficos en el mapa. Es por esto que tuvimos que definir en la base de

datos los parámetros de entrada de “latitud y longitud” que servirán para establecer las coordenadas geográficas del punto que se quiere mostrar.

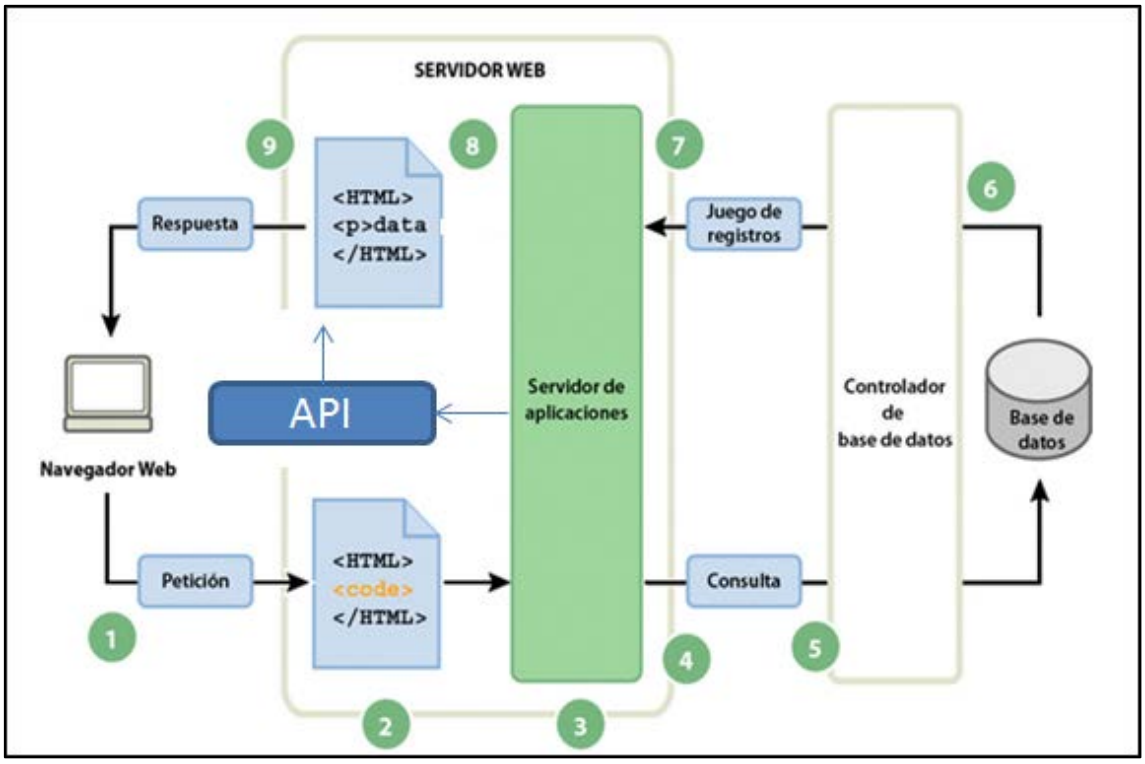


Figura 36. En el siguiente ejemplo se muestra el proceso de consulta de base de datos y de devolución de los datos al navegador [44].

1. El navegador Web solicita la página dinámica. 2. El servidor Web localiza la página y la envía al servidor de aplicaciones. 3. El servidor de aplicaciones busca instrucciones en la página. 4. El servidor de aplicaciones envía la consulta al controlador de la base de datos. 5. El controlador ejecuta la consulta en la base de datos. 6. El juego de registros se devuelve al controlador. 7. El controlador pasa el juego de registros al servidor de aplicaciones. 8. El servidor de aplicaciones inserta los datos en una página, en el cual a través de la API tenemos una presentación personalizada del contenido y luego pasa la página al servidor Web. 9. El servidor Web envía la página finalizada al navegador solicitante.

A partir de aquí la aplicación permite conocer de una manera gráfica y muy visual la localización de las empresas, su relación con las demás, toda una serie de parámetros geográficos como pueden ser distancias entre empresas vinculado a una ruta óptima, zonas de influencia que no son más que áreas a una distancia dada desde un punto en concreto, útil para visualizar zonas comunes donde ubicar por ejemplo una

infraestructura. Es resumen, datos que servirán para analizar la viabilidad de las corrientes de flujo y obtener resultados de los mismos.

4._ VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA.

La obtención de un software de calidad implica la utilización de metodologías o procedimientos estándares para el análisis, diseño, programación y prueba del software que permitan uniformizar la filosofía de trabajo con el fin de lograr una mayor confiabilidad, mantenibilidad y facilidad de prueba, a la vez que se eleva la productividad. [45]. Aparece un nuevo término denominado testing que se define como actividad desarrollada para evaluar la calidad del producto y para mejorarlo al identificar defectos y problemas.

A pesar de que la herramienta no está todavía en fase comercial, es necesario establecer una metodología de validación con el fin de alcanzar un nivel alto de calidad de la aplicación y detectar posibles errores en código fuente o en funcionamiento real, lo que se llama verificación estática y dinámica. [45].

Según [46], existen una serie de pruebas que se utilizan a nivel mundial para la validación de las herramientas informáticas y que se aplicarán en la nuestra:

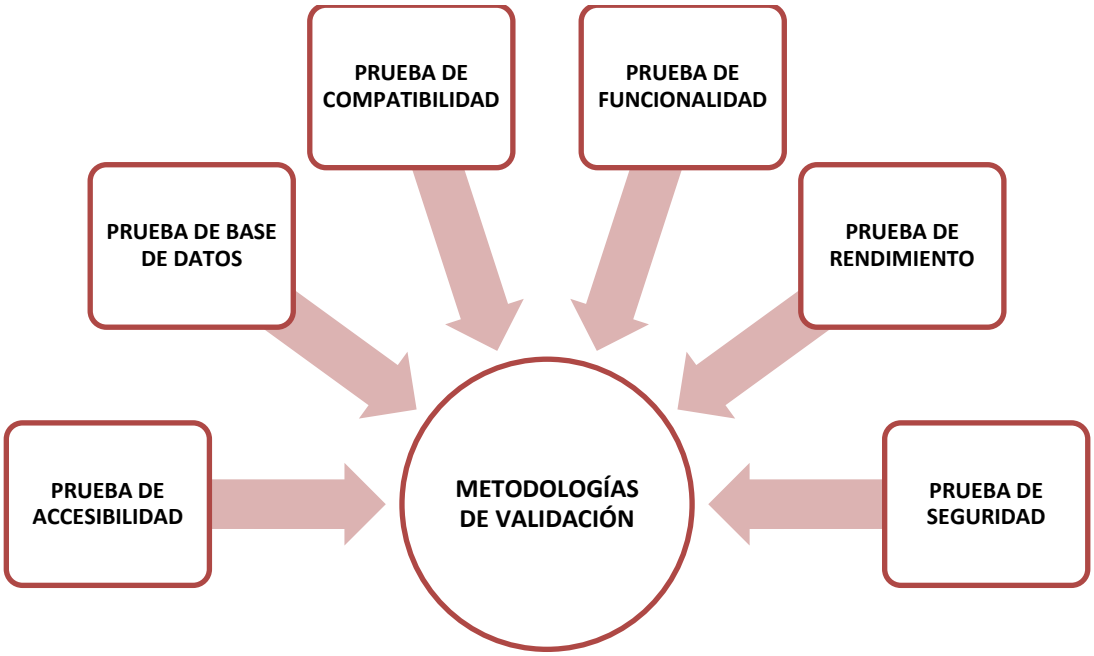


Figura 37. Esquema metodologías de validación [Fuente Propia].

- **Pruebas de accesibilidad.**

Mide el nivel de accesibilidad de las aplicaciones, para que cualquier usuario pueda interactuar con ella.

- **Pruebas de bases de datos.**

Comprueba la integridad de los datos y errores al editar, borrar y modificar los formularios y toda la funcionalidad de la base de datos relacional. Este tipo de prueba se realiza de forma manual, sin el apoyo de ninguna herramienta de prueba.

- **Pruebas de compatibilidad.**

Se comprueba la compatibilidad con diferentes sistemas operativos, navegadores, software.

- **Pruebas funcionales.**

  Que las funciones de la aplicación cumplan con los requerimientos demandados.

- **Pruebas de rendimiento.**

  Se mide rendimiento y escalabilidad. Trabajando con varios usuarios a la vez la potencia de la base de datos.

- **Pruebas de seguridad.**

  Establecer y medir niveles de seguridad dentro de la aplicación.

Una vez terminada la fase de programación y depuración de todo el código se está en disposición de hacer la validación de la herramienta. La siguiente fase consiste en la puesta en marcha de la aplicación a través de un servidor, a partir de ahí se comprueba el buen funcionamiento de la página, su correcta visualización, que no de errores con los diferentes navegadores y que la base de datos funcione correctamente, almacenando y editando información.

Para la validación de la herramienta se van a tomar ya datos reales de empresas, materias primas y productos. Se selecciona un área de estudio del proyecto de investigación “Bases para el desarrollo de proyectos de investigación de simbiosis industrial en el municipio de Torrelavega” [6], en este caso ha sido el polígono de Mies de Molladar en el que disponemos de 25 empresas participantes.

A medida que se introducen los datos se van a ir realizando las diferentes pruebas para comprobar posibles deficiencias en la aplicación. Se han introducido en la aplicación actualmente 25 empresas, más de 3000 materias primas, cerca de 1000 residuos y 31 relaciones de simbiosis.

Figura 38. Resumen de todos los datos introducidos en la base de datos [Fuente Propia].

Se han guardado, editado y borrado datos, se ha accedido a la aplicación con diferentes usuarios y lo más importante se ha comprobado la detección de sinergias entre las empresas con un resultado totalmente positivo. Se eligió una empresa en el que se le habían detectado un número determinado de sinergias anteriormente en el proyecto [6], la aplicación detectó el mismo número pero además ofreciendo la ventaja de tenerlas por flujo y por tipo de residuo y de una manera rápida y sencilla para el usuario sin tener que interpretar o buscar ningún tipo de dato. Se puede afirmar que la base de datos es sólida y funciona correctamente. Se ha enseñado la herramienta a varios usuarios para comprobar su accesibilidad con una alta respuesta para ellos de simplicidad y amabilidad gráfica, por lo tanto también se puede afirmar que la aplicación cumple con la prueba de funcionalidad porque alcanza los requerimientos demandados.

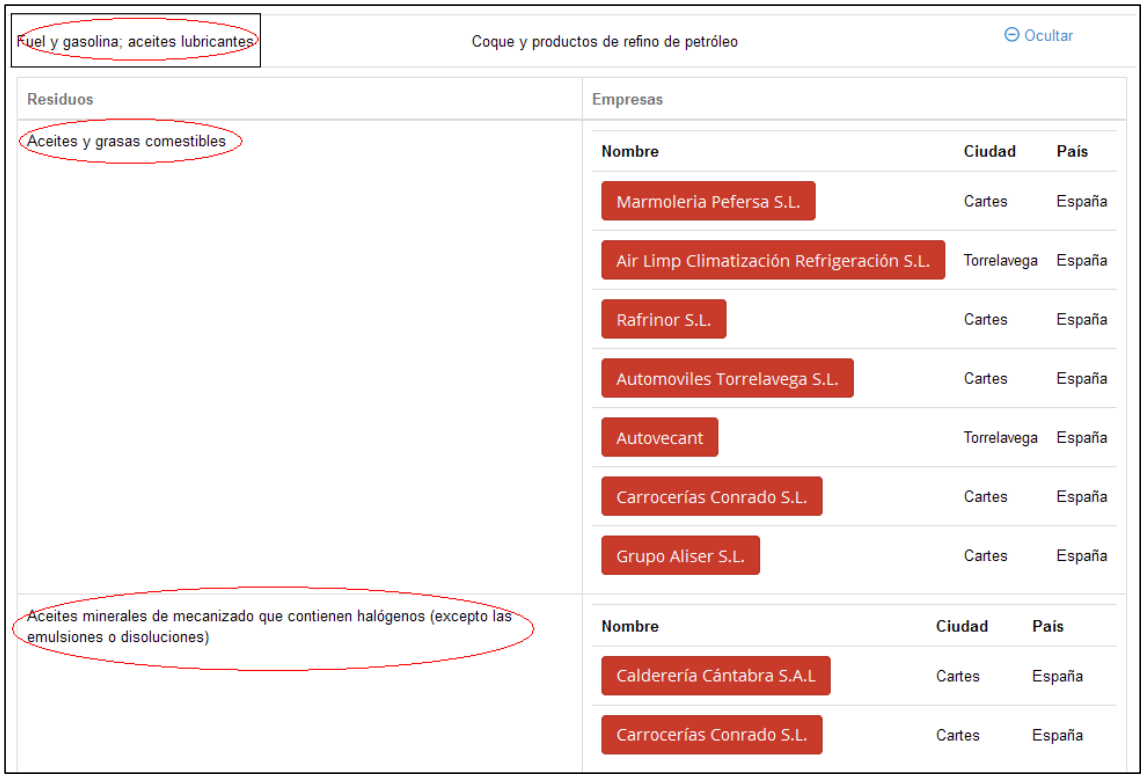


Figura 39. Detección de simbiosis [Fuente propia].

La seguridad de la aplicación está marcada por los tres niveles de usuarios que existen que a la vez son los que marcan el grado de accesibilidad de la aplicación, usa campos encriptados que dan acceso a la información y al estar colocada en servidores ofrecen mayor garantía de seguridad.

Ahora mismo se cumplen todas las pruebas, alcanzando la herramienta un grado de calidad alto para no estar en fase de comercialización.

5._ ANÁLISIS DE RESULTADOS.

La forma de trabajar con la herramienta sigue la metodología descrita en la figura siguiente.

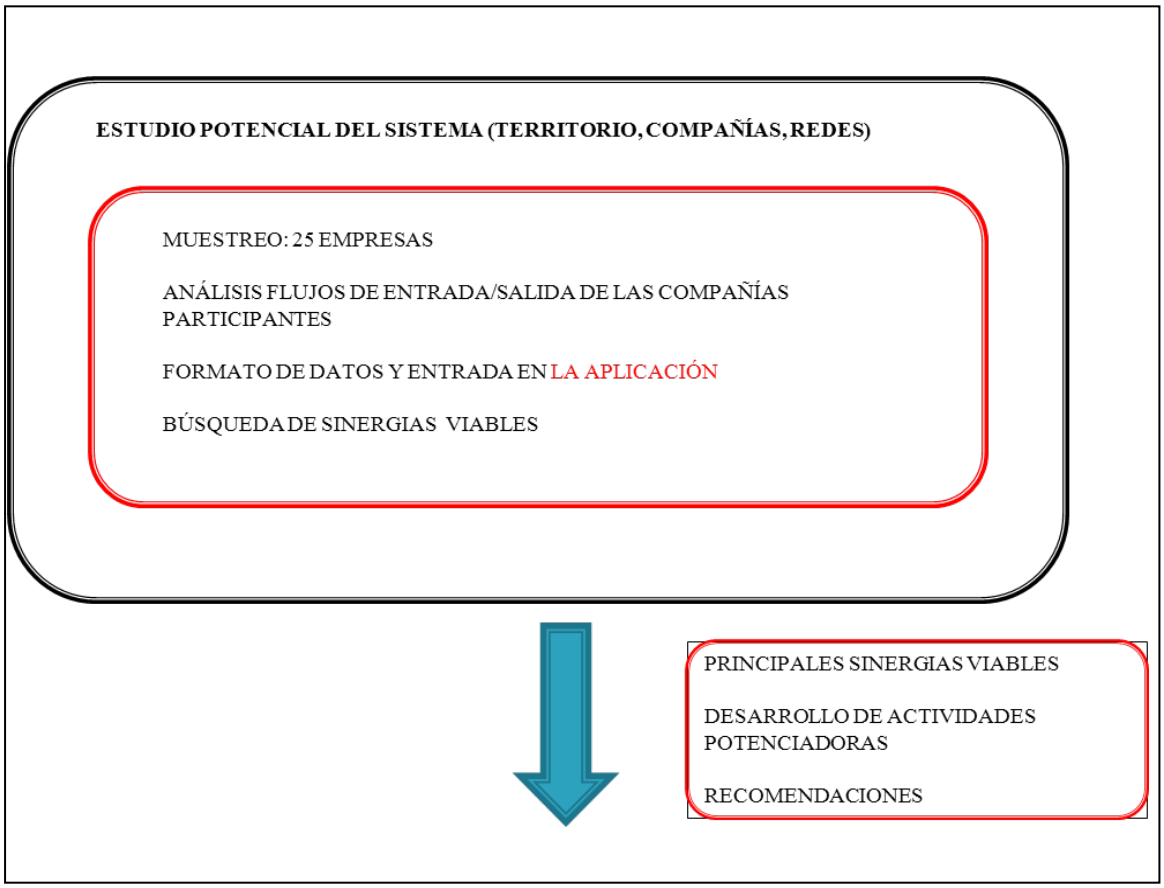


Figura 40. Fases de estudio en el análisis de sinergias [29].

Se seleccionan las empresas del área de estudio, en este caso las 25 empresas de la zona de Mies de Molladar, que más tarde se introducen en la base de datos. El siguiente paso es el análisis de los flujos de entrada/salida de las compañías participantes cuya información procede del proyecto “Bases para el desarrollo de simbiosis industrial en el municipio de Torrelavega” [6]. Se estudia el tipo de materias y subproductos y el tipo de residuos en función de su peligrosidad para darles formato e introducirles en la aplicación. La última etapa corresponde, apoyándose en la herramienta, a la búsqueda

de sinergias viables. A partir de este punto la herramienta ofrece una activación del mercado de oferta y demanda descubriendo nuevas relaciones entre las empresas que se desconocen y que resulta difícil pensar que se puedan dar de forma espontánea. A su vez nos permite establecer una visión geográfica del área gracias a la variable espacial incorporada. Debido a la modularidad de la herramienta, va a permitir ir añadiendo nuevos módulos que junto con la entrada de datos cuantitativos va a permitir estudiar la viabilidad de las principales sinergias, desarrollar actividades potenciadoras de las mismas y aportar información y recomendaciones sobre beneficios y costes que afecten a la futura sinergia establecida.

Como ejemplo se escoge una de las 25 empresas para estudiar sus sinergias, es decir, las posibles relaciones de intercambio con otras empresas Para ello se han analizado todos los flujos de entrada/salida de la empresa, para después darles formato e introducirles en la aplicación con el objetivo de su posterior evaluación, como se ha comentado en la metodología anterior. En este caso la empresa cuenta con 14 flujos distintos de materias primas y auxiliares y 27 flujos distintos de residuos.

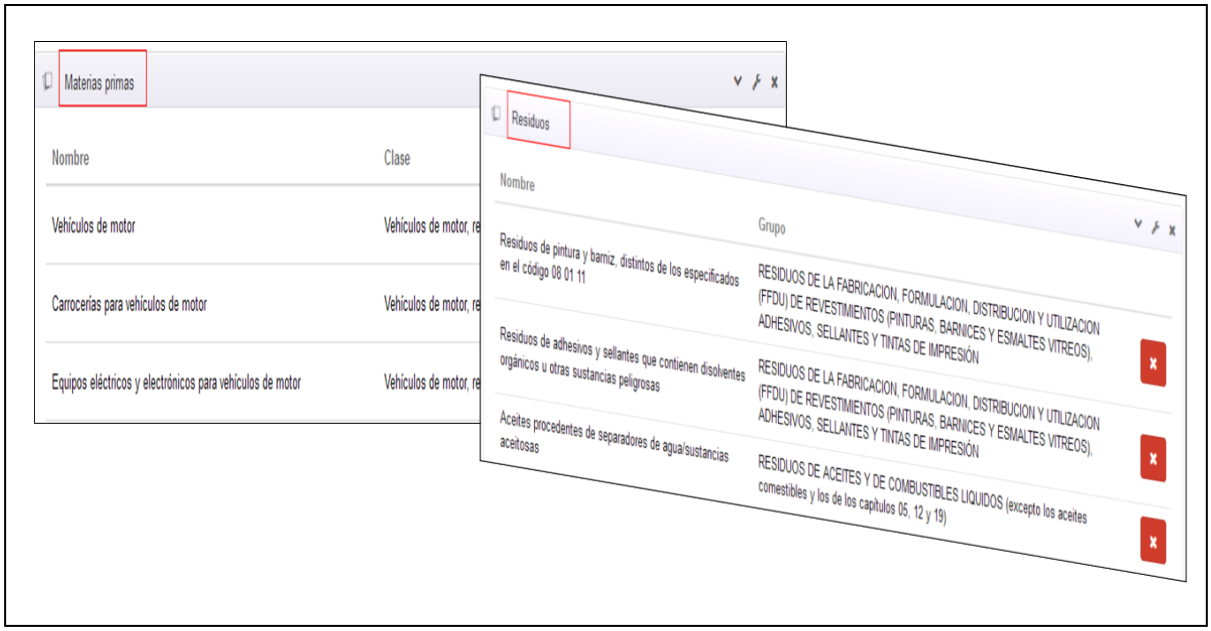


Figura 41. Materias Primas y residuos introducidos en el caso de estudio [Fuente Propia].

Para el análisis se va registrando materia por materia con el objetivo de buscar un residuo compatible en función de nuestra tabla de simbiosis. Al lado de cada materia existe un apartado "*Ver residuos válidos*" que pinchando sobre él se obtienen los resultados de búsqueda. Una por una se va viendo que hay materias para los que no hay posibilidad de simbiosis, ya que no hay empresas que tengan residuos que puedan ser compatibles. Llegados por ejemplo a la materia prima *"fuel y gasolina; aceites lubricantes"*, nos encontramos con un número importante de sinergias que se pueden analizar para comprobar su validez comparando sus resultados con los obtenidos en el proyecto. Este tipo de materia puede ser sustituida según la bibliografía de estudio por los siguientes residuos:

- aceites y grasas comestibles
- aceites minerales de mecanizado que contienen halógenos (excepto las emulsiones o disoluciones)
- aceites sintéticos de mecanizado
- aceites procedentes de separadores de agua/sustancias aceitosas
- residuos de aceites hidráulicos
- residuos de aceites de motor, de transmisión mecánica y lubricantes

Como se puede apreciar en la siguiente figura se muestra como ejemplo una de las sustituciones que se da, en este caso es por "*aceites y grasas comestibles"*. Se puede ver como al lado del residuo sustitutivo aparecen los nombres de todas las empresas que lo poseen. Al lado de cada una de ellas aparece su ubicación y haciendo "doble clic" en el nombre de la empresa, se proyecta sobre un mapa sus coordenadas geográficas (latitud y longitud) y que nos habilitará para saber de forma gráfica la ubicación, localización, zona de estudio, medir distancias, trazar rutas, sectorizar la información.

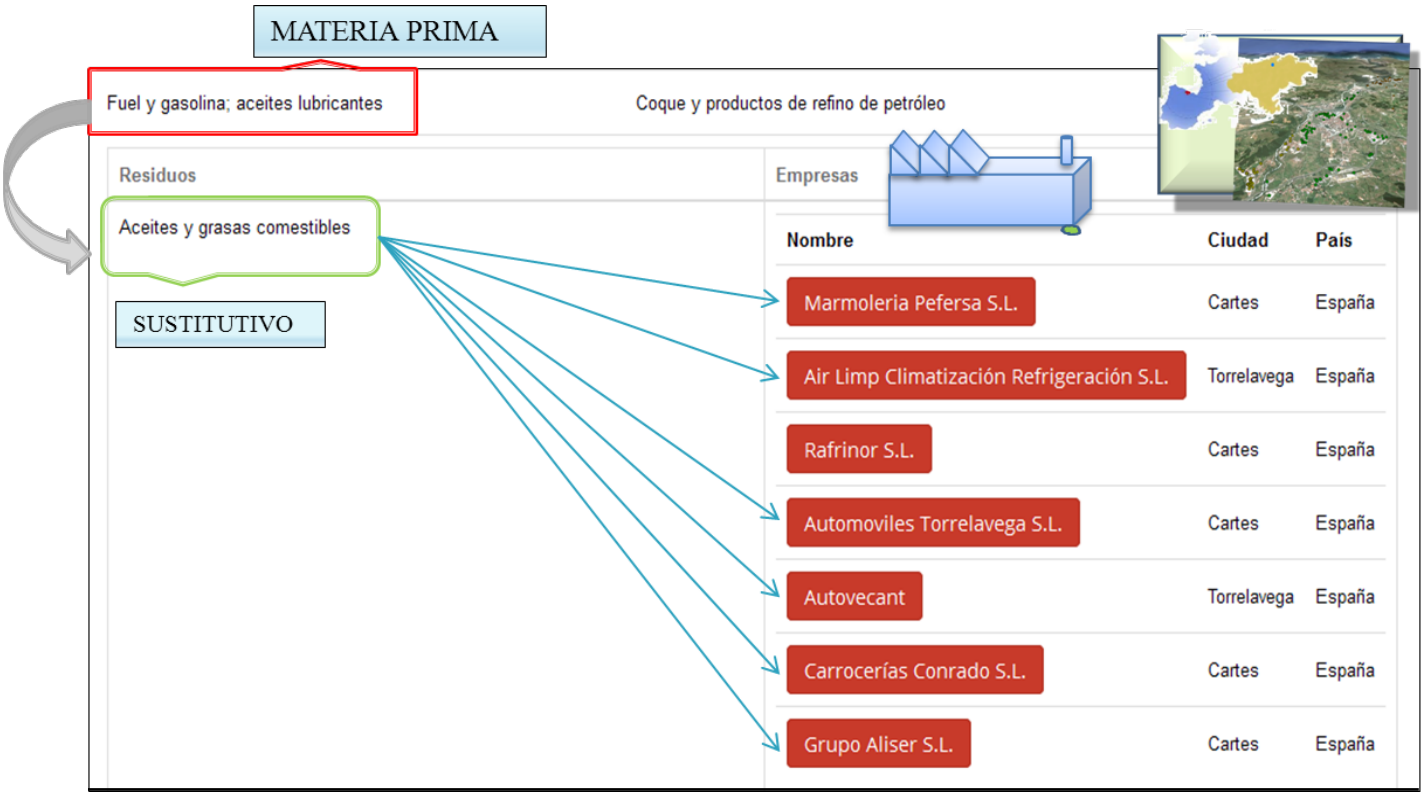


Figura 42. Ejemplo de detección de sinergias [Fuente Propia].

Otro dato que es conveniente analizar en esta sección es la ventaja de poder detectar si la propia empresa sobre la que se produce la consulta genera por sí misma relaciones de simbiosis. Debido a la programación de la herramienta se puede consultar en el mismo apartado "*Ver residuos válidos*" si nuestra empresa genera algún residuo que puede ser sustituido por una materia prima. Esto abre la puerta a poder realizar nuevos análisis con el objetivo de ahorrar costes de tratamiento y transporte de ese residuo y al mismo tiempo reducir la tasa de generación de residuos que tiene la empresa, lo que puede constituir un mayor certificado de calidad para la misma y un beneficio para el medio ambiente.

En nuestro análisis se puede ver cómo la herramienta detecta que la propia empresa es generadora por si misma de posibles sinergias.

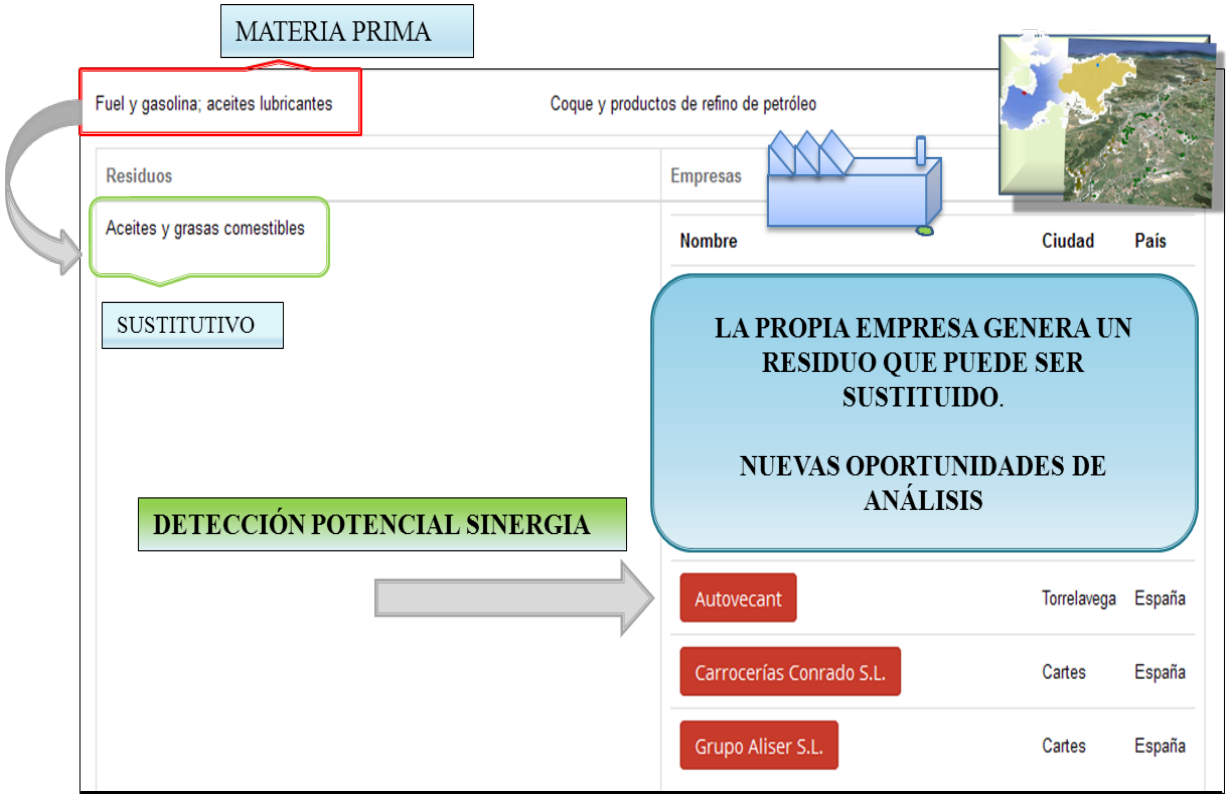


Figura 43. La empresa es generadora por si misma de potenciales sinergias [Elaboración propia].

Todo este proceso que resulta ágil y fácil de consultar procede de una hoja de Excel con mucha información y un manejo muy complejo, sólo por usuarios expertos.

Siguiendo el análisis de la información, el siguiente apartado a revisar es el de residuos. Al igual que el anterior muestra todos los flujos diferentes de residuos que tiene la empresa y al lado haciendo clic en el apartado "*Ver empresas con el mismo residuo*" nos detecta todas las empresas que generan el mismo residuo. En cada una de ellas siempre existirá la posibilidad de la proyección sobre un mapa para determinar características geográficas. Toda esta información resulta determinante a la hora de planificar tratamientos conjuntos, instalaciones comunes, almacenamiento de los

residuos de varias empresas en otra empresa, lo cual nos permite incorporar un nuevo concepto que es el de sinergias de mutualidad, que consisten en uso compartido de un servicio o infraestructura por dos o más empresas próximas entre sí.

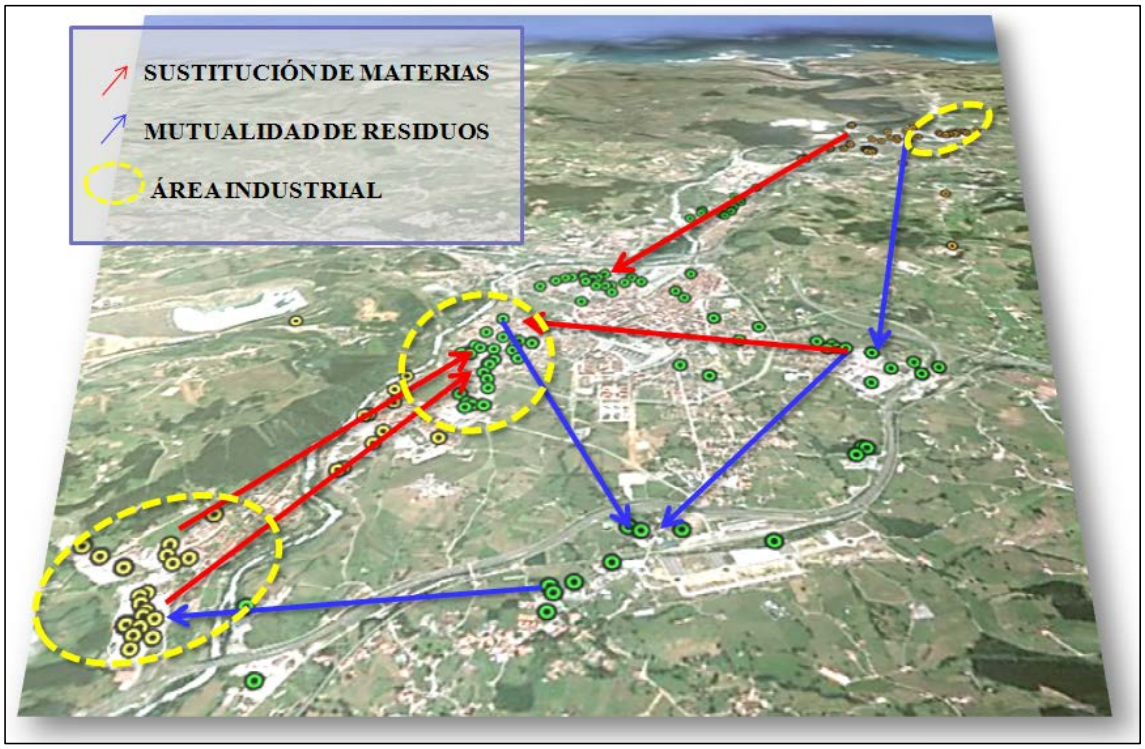


Figura 44. Mapa de sinergias [Elaboración propia].

Las variantes más comunes de esta tipología de sinergia son que una empresa ofrezca a otras próximas el uso compartido de una infraestructura o servicio propio del que dispone margen de aprovechamiento, o bien el uso compartido de una infraestructura común que pertenezca al conjunto de industrias del polígono o zona, optimizando de ambas formas el citado servicio o infraestructura. En la siguiente figura se puede ver como la herramienta para el residuo "*envases de papel y cartón*" detecta todas las empresas que poseen el mismo residuo con las propiedades de geolocalización antes mencionadas.

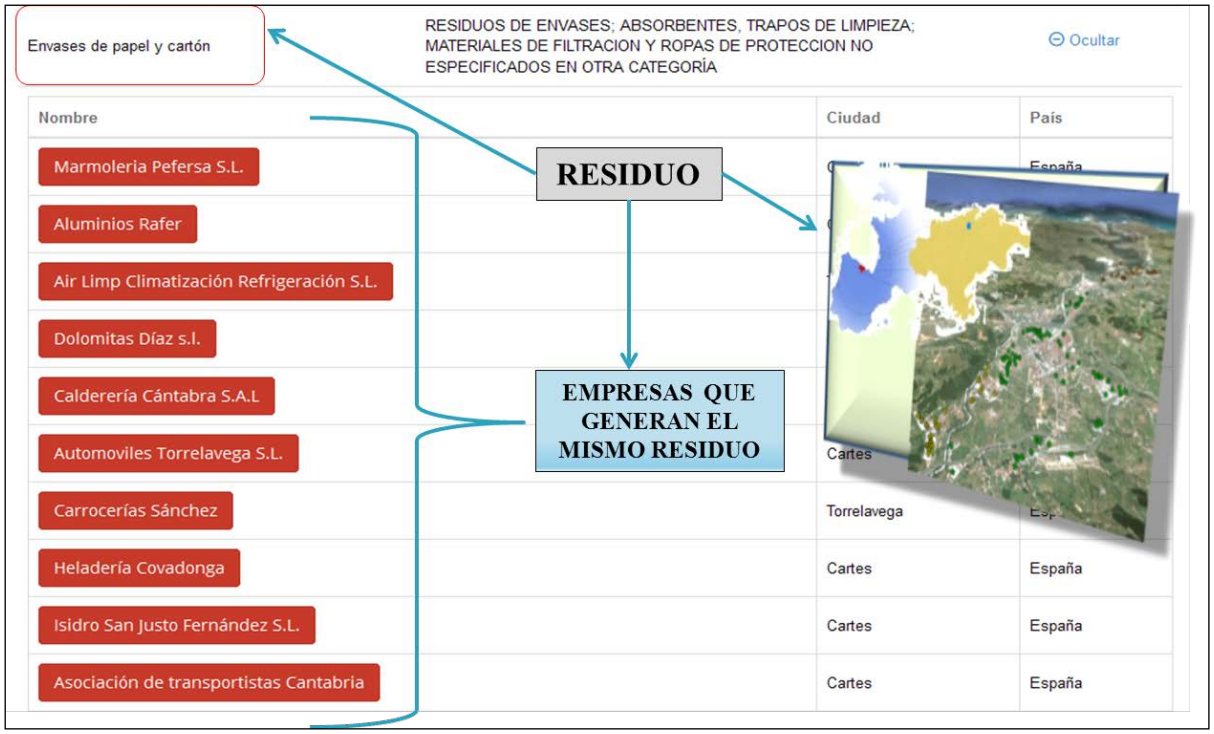


Figura 45. Empresas que generan el mismo residuo [Elaboración propia].

Esto demuestra la capacidad que tiene la herramienta para potenciar un mercado de oferta y demanda y crear nuevas relaciones entre las empresas que se desconocían.

La variable geográfica no será determinante a la hora de estudiar la viabilidad de la sinergia, salvo en los casos de transporte por tubería, pero si influyente en los costes económicos finales de una sinergia.

En este caso la aplicación nos muestra las ubicaciones de las empresa y por ello una información rápida sobre la ciudad, provincia o comunidad autónoma para conocer su legislación, sus directivas para identificar instalaciones, núcleos urbanos, espacios protegidos, también nos proporciona la distancia que hay entre ellas, dato con el que podremos calcular el coste de transporte y el tiempo empleado, factores importantes a la hora de planificar y estudiar la viabilidad, definir la ruta que en función del tipo de

residuo cobrará importancia para conocer el tipo de vía, alternativas al tráfico o infraestructuras.

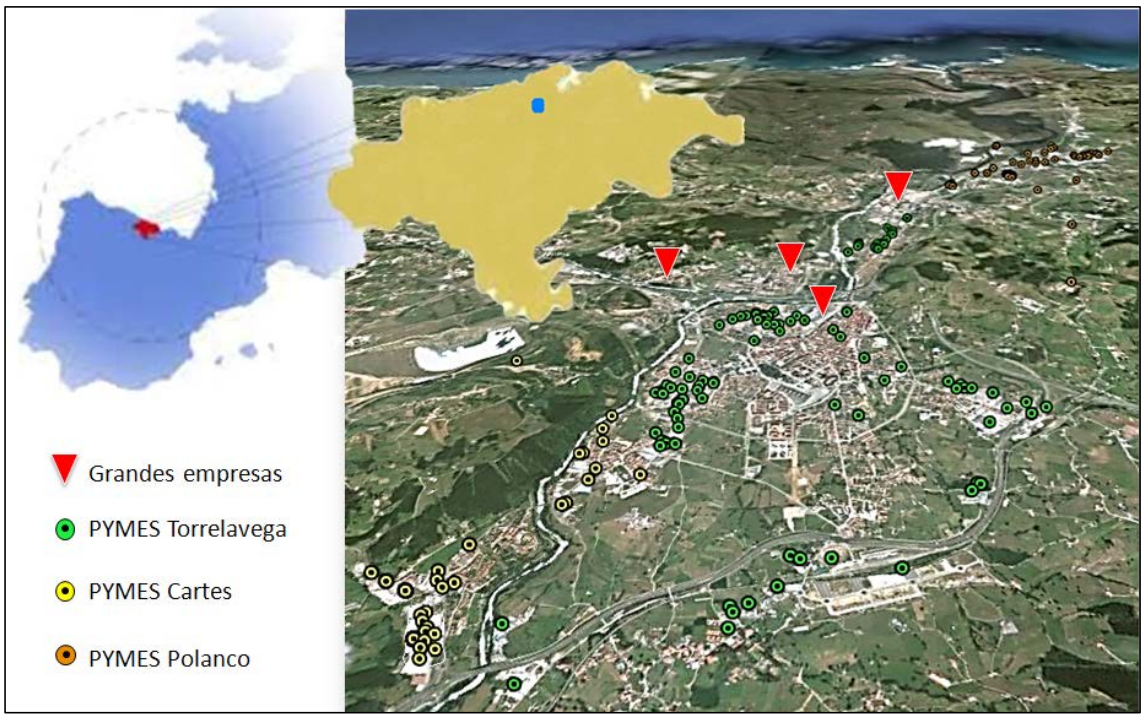


Figura 46. Ubicación de las empresas para análisis geográfico [Elaboración propia].

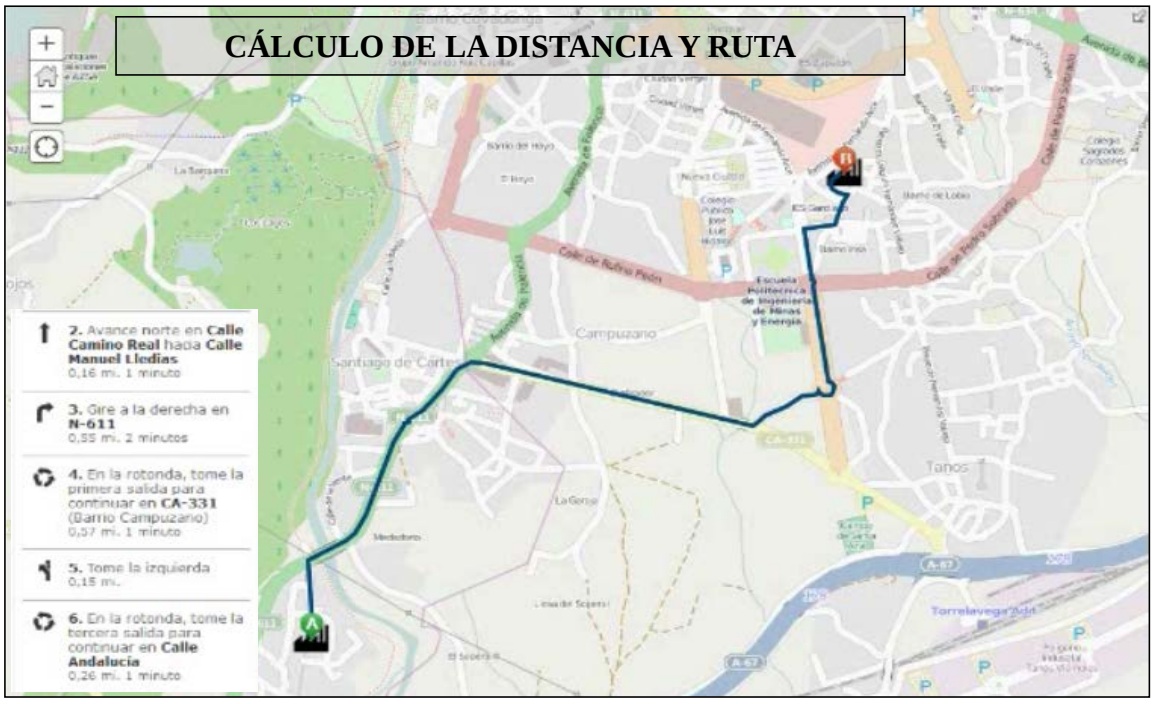


Figura 47. Cálculo de la ruta entre la empresa A y la empresa B [Elaboración propia].

Se pueden determinar *zonas de influencia* en torno a las empresas, que son áreas que cubren una distancia dada desde una entidad.

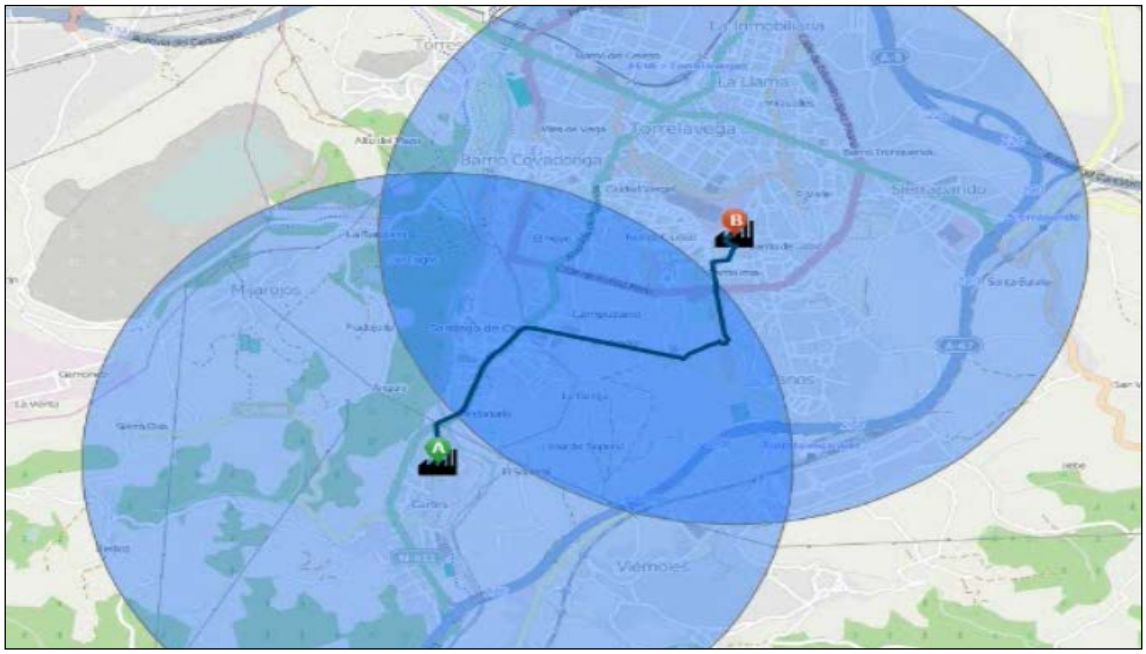


Figura 48. Zona de influencia en torno a las empresas [Elaboración propia].

Esto nos ayuda a conocer cuál es el área común a un número determinado de empresas para la toma de decisiones a la hora de encontrar la ubicación óptima de una instalación de uso compartido.

También nos permite crear *áreas de tiempo de recorrido*, que son áreas a las que se pueden llegar en un tiempo de recorrido especificado, por ejemplo en 30 minutos, o que está a una distancia de conducción dada. Esta variable da respuesta a preguntas como:

¿A dónde puedo ir desde mi empresa conduciendo 30 minutos?

¿A dónde puedo ir desde mi empresa conduciendo 30 minutos a las 6:00 pm durante la hora punta?

¿Qué áreas de mercado cubre mi negocio? ¿Qué áreas están a un máximo de 15 minutos?

Figura 49. Empresas que generan el mismo residuo [Elaboración propia].

6._ CONCLUSIÓN Y LÍNEAS FUTURAS.

En base a lo expuesto se puede concluir que se ha conseguido:

- Crear una base de datos potente y actualizable, de carácter espacial que es capaz de referenciar datos normales a datos geográficos, que sirva para un mejor uso de los recursos y que pueda dar apoyo en la toma de decisiones sobre planificación industrial y territorial.
- Un diseño basado en los siguientes criterios:
    - Lenguajes de código abierto manteniendo el carácter de universalidad, es decir, que proporcione un fácil acceso desde cualquier lugar y en cualquier momento, independiente de sistemas operativos, navegadores, capacidades de memoria que limiten su uso, con una actualización inmediata y que sea capaz de describir diferentes escenarios independientemente del área industrial y de su zona geográfica, que se adapte a nuevas necesidades del entorno.
    - Diseño modular, que presente flexibilidad a la hora de acoplar nuevos módulos a la herramienta de una manera fácil, sin presentar incompatibilidades.
- Que la aplicación detecte sinergias y pueda georeferenciar la información. Lo cual implica que la herramienta queda validada a nivel estático de código fuente y dinámico de funcionamiento.
- Estar en condiciones de enumerar las posibilidades de análisis que ofrece la incorporación de la variable geográfica en el marco de la EI y más en concreto en el análisis de la SI y gestión medioambiental. Desde la visualización de un gran volumen de información de manera ágil y sencilla, hasta el análisis de datos

de carácter geográfico como puede ser localización, distancias, áreas de influencia, rutas, selección de lugares óptimos para la ubicación de instalaciones, gestión del suelo y de los residuos y planificación industrial.

Por último se puede decir que la herramienta presenta un carácter innovador a nivel local y nacional, ya que no se han encontrado aplicaciones de este tipo en la bibliografía.

La línea futura de trabajo se orienta a la alimentación y actualización de la base de datos para conseguir mayores posibilidades de análisis, a través de datos cuantitativos destinados a determinar costes, hacer simulaciones, potenciar las relaciones de simbiosis a partir de nuevos criterios y añadir nuevos módulos relacionados con el sector industrial, social y económico, ya que en este tiempo de desarrollo del proyecto gracias al conocimiento adquirido he podido determinar que la existencia de información referente a flujos entre dos compañías es una condición necesaria pero no suficiente para el establecimiento de una sinergia. La decisión de formalizar una sinergia no sólo depende del interés económico de las compañías, sino también de los riesgos asociados para cada una de las dos partes negociadoras (Ver figura). Estos riesgos son algunas veces difíciles de cuantificar debido a la falta de información o de tiempo para tratar todas las cuestiones (reacción de clientes, residentes, autoridades) [29].

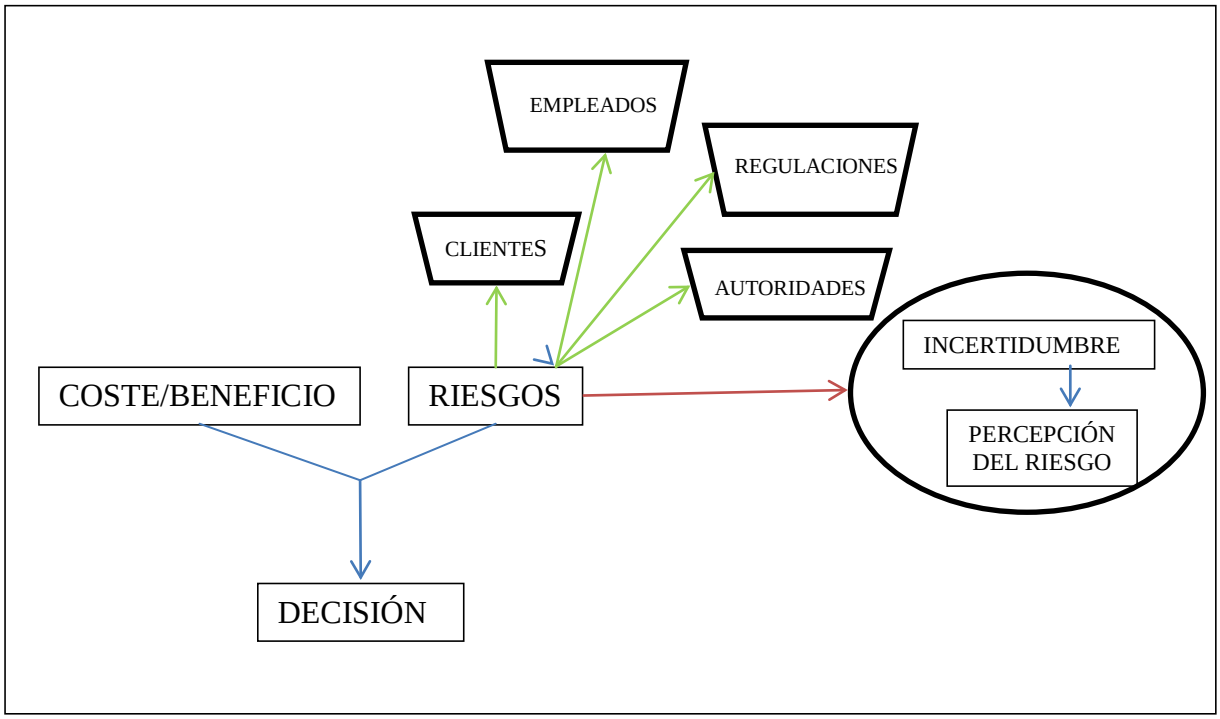


Figura 50. Factores que influyen en la toma de decisiones [29].

Por eso a medida que se iba desarrollando la herramienta surgían nuevos enfoques en el diseño compatibles con el objetivo general planteado al inicio de la investigación, el cual consistía no sólo en crear una herramienta de gestión medioambiental que sirviera para la detección sino *que pudiera ofrecer un mejor uso de los recursos y un apoyo en la toma de decisiones sobre planificación industrial y territorial*.

Con lo cual la herramienta conseguiría intervenir en las dos fases que afectan a la hora de establecer una sinergia, no sólo se enfoca en el aspecto socio-económico como puede ser el ahorro a la hora de reducir o eliminar el tratamiento de un residuo, el beneficio económico derivado de la venta del mismo o la posibilidad de calcular los costes de transporte, ya que, excluyendo los casos de plantas adyacentes, los flujos intercambiados deben, en general, circular más allá de los límites de las unidades de

recepción y del productor, lo cual tendrá su influencia en los beneficios económicos relativos a la sinergia. Si no también intentar aportar información para reducir esos riesgos inherentes a las simbiosis, conociendo por ejemplo la ubicación de las compañías y rutas de transporte, se podría determinar la posible viabilidad de una sinergia, es decir, el tipo de carretera, la proximidad a un núcleo urbano o la existencia de normativas estatales y regionales referentes al transporte de residuos, en especial los dedicados al transporte de residuos peligrosos, que se convierten en un factor clave para el desarrollo de sinergias eco-industriales.

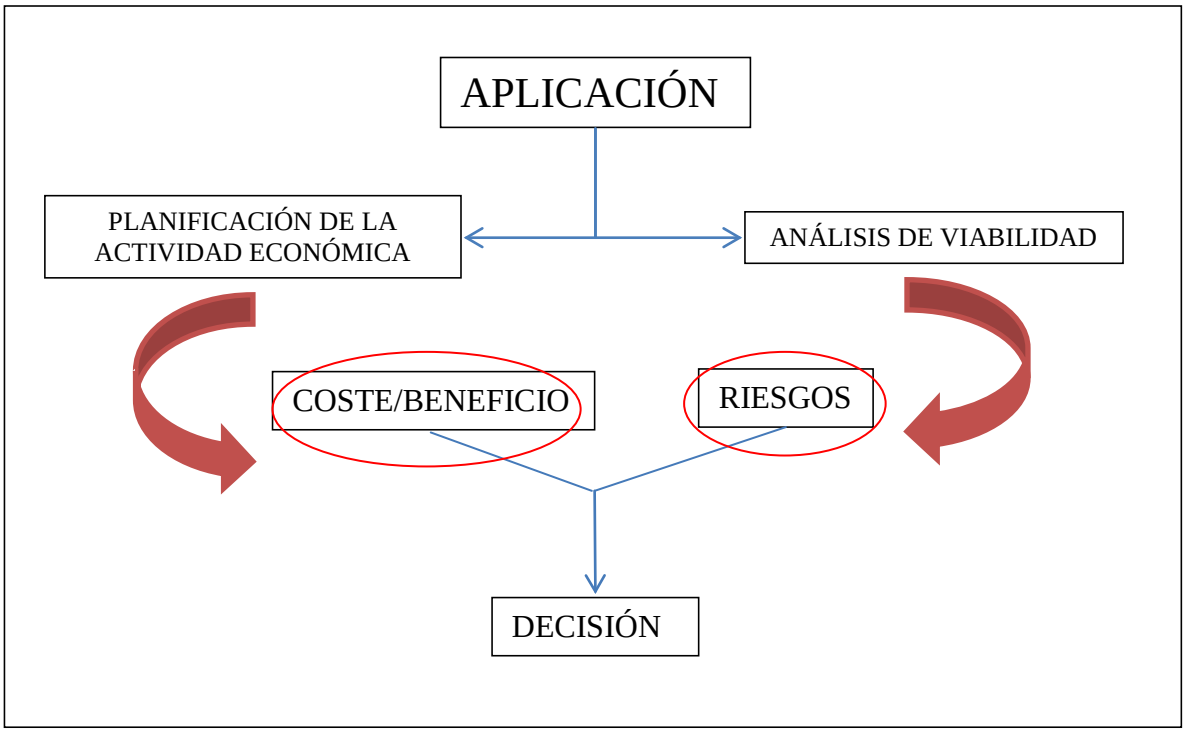


Figura 51. Etapas en las que interviene la herramienta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[1] Directiva Europea 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de Noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. <www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2008-82319> (Último acceso: Mayo 2014).

[2] Ley 22/2011, de 28 de Julio, de residuos y suelos contaminados. <http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/l22-2011.html>(Último acceso: Mayo 2014).

[3] Instituto Nacional de Estadística (INE) (2014). <www.ine.es> (Último acceso: Mayo 2014).

[4] Punto focal de residuos de Cantabria, Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria (2013). < http://pfr.medioambientecantabria.es/> (Último acceso: Octubre 2013).

[5] Lowe, E.A. y Evans, L.K. (1995). "Industrial ecology and industrial ecosystems". Journal of Cleaner Production, 3: 47-53.

[6] Grupo de Investigación Ingeniería y Gestión de Proyectos (INGEPRO) de la Universidad de Cantabria (2012). "Bases para el desarrollo de proyectos de simbiosis industrial en el municipio de Torrelavega". Proyecto de investigación de Universidad de Cantabria en colaboración con la Agencia de Desarrollo Local de Torrelavega.

[7] Graedel, T.E. y Allenby, B.R. (2003). "Industrial ecology". 2ª Ed. Pearson Education. Upper Saddle River, NJ, USA.

[8] Diez, A. (2012). "Desarrollo de una metodología para formar una red ecoindustrial aplicada a complejos industriales". Proyecto Fin de Máster de Investigación en Ingeniería Industrial. Universidad de Cantabria.

[9] Boons, F.A. (2009). "The fuzzy consequences of the digital revolution-Exploring the link between Industrial Ecology and ICT". Proceedings of the 23rd International Conference on Informatics for Environmental Protection: Concepts, Methods and Tools, EnviroInfo 2009. Berlin, Alemania, 9-11 Septiembre.

[10] Isenmann, R. y Chernykh, K. (2009). "The role of ICT in industrial symbiosis projects-Environmental ICT applications for eco-industrial development". Proceedings of the 23rd International Conference on Informatics for Environmental Protection: Concepts, Methods and Tools, EnviroInfo 2009. Berlin, Alemania, 9-11 Septiembre.

[11] Pillman, W., Geiger, W. y Voigt, K. (2006). "Survey of environmental informatics in Europe". Environmental Modeling & Software, 21(11): 1519-1527.

[12] Frosch, R. y Gallopoulos, N., (1989). "Strategies for manufacturing". Scientific American, 261 (3): 144–152.

[13] Cervantes, G., Sosa, R., Rodríguez, G. y Robles, F. (2009). "Ecología industrial y desarrollo sustentable". Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 13-1: 63-70.

[14] Erkman, S. (2003). "Perspectives on Industrial Ecology". In Bourg, D. and Erkman, S. (Eds.) Perspectives on Industrial Ecology. Greenleaf Publishing Limited. Sheffield, UK.

[15] Pastor, R. (2008). "Ecología Industrial: por una industria sostenible". <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/ecologia-industrial-por-una-industria-sostenible> (Último acceso: Marzo 2014).

[16] Rosemberg, A. (2006). Ecología y Simbiosis Industrial. Centro Tecnológico para la Sustentabilidad. Estructplan. <http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=1234> (Último acceso: Septiembre 2013).

[17] Hatefipour, S. (2012). "Facilitation of Industrial Symbiosis Development in a Swedish Region". Tesis Doctoral Linköping Sweden. Department of Management and Engineering.

[18] Goodchild, M. (1992). "Geographical information science". International Journal of Geographical Information Systems, 6 (1): 31-45.

[19] Sastre, P. (2010). "Sistemas de Información Geográfica (SIG): Técnicas básicas para estudios de biodiversidad". Comunicación personal. Instituto Geológico y Minero de España.

[20] Gutiérrez, J y Gould, M. (1994). "SIG: Sistemas de Información Geográfica". Editorial Síntesis, Madrid, España.

[21] Bernad, D. (2014). "Integración de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la evaluación ambiental de sistemas de gestión de residuos". Tesis Doctoral Universitat Jaume I, Castellón.

[22] Sánchez, A.; Peréz, A.; Bismarck, J.; Fernández, J. y Páez, R. (2012) "Curso de especialización en la Red Andaluza de Posicionamiento". Laboratorio de Astronomía, Geodesia y Cartografía, Universidad de Cádiz.

[23] Instituto Geográfico Nacional (IGN) (2013). <www.ign.es/ign/layoutIn/actividadesGeodesiaStmagd.do> (Último acceso: Octubre 2013)

[24] Snaider, P. (2010). "Proyecciones Cartográficas y Sistemas de Referencia". Revista Geográfica Digital. IGUNNE. Facultad de Humanidades. UNNE, 13.

[25] Chen, D.; Shams, S.; Carmona-Moreno, C. y Leone, A. (2010). "Assessment of open source GIS software for water resources management in developing countries". Journal of Environmental Management, 87: 139-153.

[26] Steiniger, S. y Hay, G. (2009). "Free and open source geographic information tools for landscape ecology". Ecological Informatics, 4: 183-195.

[27] González, J.S. y Cáceres, G. (2013). "Comparison of GIS Desktop Tools for Development of SIGPOT". Latin America Transactions IEEE, 11 (1): 86-90.

[28] Morales, A (2013). "¿ArcGIS, gvSIG o Quantum GIS? No elijas". MappingGIS.com. Formación GIS y difusión tecnológica. <http://mappinggis.com> (Último acceso: Octubre 2013).

[29] Adou, C. (2011). "Implementing Industrial Ecology. Methodological tools and reflections for constructing a sustainable development". Science Publishers. Enfield, NH, USA.

[30] Duret, B (2004). "Pratiques internationals d'écologie industrielle: retour d'expérience". Informe personal EDF R&D, CREIDD, ICAST et Auxilia.

[31] Industrial Economics Incorporated (1998). "Applying Decision Support Tools for Eco-Industrial Park Planning: A case study in Burlington". Informe de Proyecto. <http://www.smartgrowth.org/pdf/Burlington.pdf> (Último acceso: Octubre 2013).

[32] Brown J., Gross D. y Wiggs, L. (2002). "The Matchmaker! System: creating virtual Eco-Industrial Parks". In Chertow M. Portlock M., y Coppock J. (eds.) Developing Industrial Ecosystems: Approaches, Case and Tools. Bulletin Series, Nº106, Yale School of Forestry and Environmental Studies, Yale, Connecticut, USA.

[33] Massard, G. y Erkman, S. (2009). "A web-GIS tool for industrial symbiosis-Preliminary results and perspectives". Proceedings of the 23rd International Conference on Informatics for Environmental Protection: Concepts, Methods and Tools, EnviroInfo 2009. Berlin, Alemania, 9-11 Septiembre.

[34] Clasificación de Productos por Actividad (CPA2008) (2014). <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft40%2Fcnpa08%2F&file=inebase&L=0&divi=&his= > (Último acceso: Mayo 2014).

[35] Lista Europea de Residuos (LER). (2014) <http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2002-3285> (Último acceso: Junio 2014).

[36] Barrio, T. (2002). "Gestión de comunicaciones técnicas en conferencias: interfaz servidor-cliente mediante páginas web dinámicas". Proyecto Fin de Carrera Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones. Universidad de Cantabria.

[37] Silberschatz, A, Korth, F. y Sudarshan, S. (2006). "Fundamentos de bases de datos". 5ª Edición. McGrawhill, Madrid, España.

[38] Pratt, P. y Last, M. (2009). "SQL". Ediciones Anaya Multimedia, Madrid, España.

[39] Lockhart, T. (1996). "Tutorial de PostgreSQL, por el equipo de desarrollo de PostgreSQL". 1996-9 Postgres Global Development Group. <http://palomo.usach.cl/Docs/postgres/Postgres-Tutorial.pdf>. (Último acceso: Junio 2014).

[40] Pons, O., Ruiz, N., Rodriguez, J.M., Carrillo, S. y Miranda, M.A. (2005). "Introducción a las bases de datos: El modelo relacional". Thomson Paraninfo, Madrid, España.

[41] Fermoso, A. y Berjón, R. (2004). "Acceso a datos relacionales en entornos web: un caso práctico". Salamanca, España, Publicaciones Universidad Pontificia de Salamanca.

[42] Argerich, L., Egervari, K., Anton, M., Lea, C., Killian, C., Hubbard, H., y Fuller, J., (2002). "Professional PHP4 XML". Birmingham, UK, Wrox Press Ltd.

[43] Bulger, B., Greenspan, G., y Wall, D. (2004) "MySQL/PHP Database Applications". 2ª Edición. Indianapolis, IN, USA, Wiley Publishing, Inc.

[44] Compañía Adobe (2014). Dreamweaver/Aspectos básicos de las aplicaciones Web. <http://help.adobe.com/es_ES/dreamweaver/cs/using/WS51D271AB-C466-4e03-B8B7-8ADE9D3B67DEa.html> (Último acceso: Mayo 2014).

[45] Villegas, R. (2013) "Ciclo de validación de una aplicación informática". Universitat oberta de Catalunya (UOC) Gener 2013. Memoria de proyecto de Ingeniería Técnica Telecomunicaciones Especialidad. Telemática. <Openaccess.uoc.edu /webapps/o2/bitstream/10609/18937/8/rvillegasbTFC0113memoria.pdf> (Último acceso: Mayo 2014).

[46] Drake, J.M. y López, P. (2009). "Verificación y Validación" <http://www.ctr.unican.es/asignaturas/Ingenieria_Software_4_F/Doc/M7_09_VerificacionValidacion-2011.pdf > (Último acceso: Mayo 2014).