



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA EMPRESARIAL ANTE EL AVANCE TECNOLÓGICO: PROPUESTA DE UN ÍNDICE DE INNOVACIÓN

Trabajo realizado por:

Guillermo Plaza Salas

Dirigido:

Pedro Díaz Simal

Titulación:

**Máster Universitario en
Investigación en Ingeniería Civil**

Santander, Junio de 2017

TRABAJO FINAL DE MASTER

ÍNDICE GENERAL

Resumen/Abstract.....	7
1. Introducción	9
2. La empresa en la actualidad.....	11
3. Inteligencia Artificial.....	15
4. Robótica Industrial.....	19
5. Interfaz Natural de Usuario.....	24
6. Internet Global	26
7. Índice de Innovación para las empresas españolas	28
7.1 Metodología.....	31
7.1.1 Análisis factorial.....	32
7.2 Resultados.....	36
8. Conclusiones y líneas futuras de investigación	49
Referencias bibliográficas	53
Anexo 1 Actividades económicas consideradas en el análisis.....	57
Anexo 2 Contrastes en el análisis factorial	58
Anexo 3 Rotación de los componentes Varimax	59
Anexo 4 Variables consideradas en la dimensión de Entrada. Descripción	60
Anexo 5 Variables consideradas en la dimensión de Proceso. Descripción	61
Anexo 6 Variables consideradas en la dimensión de Salida. Descripción	62
Anexo 7 Variables consideradas en la dimensión de Entrada. Valor.	63

ÍNDICE GENERAL

Anexo 8	Variables consideradas en la dimensión de Proceso. Valor	64
Anexo 9	Variables consideradas en la dimensión de Salida. Valor ...	65
Anexo 10	Puntuaciones factoriales	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Deslocalización de una empresa industrial en la actualidad	13
Figura 2	Distribución de la plantilla de una empresa industrial en la actualidad.....	14
Figura 3	Deslocalización de una empresa industrial tras la incorporación de Inteligencia Artificial	17
Figura 4	Reducción de la plantilla de una empresa industrial tras la incorporación de Inteligencia Artificial	18
Figura 5	Deslocalización de una empresa industrial tras la incorporación de Robótica Industrial	22
Figura 6	Reducción de la plantilla de una empresa industrial tras la incorporación de Robótica Industrial	23
Figura 7	Fases del proceso de instrumentación de Lazarsfeld	29
Figura 8	Dimensiones del Índice de Innovación Tecnológica.....	30
Figura 9	Elaboración del Índice de Innovación Tecnológica	31
Figura 10	Gráficos de sedimentación para cada dimensión	38
Figura 11	Distribución de las actividades económicas según la dimensión de Entrada	41
Figura 12	Distribución de las actividades económicas según la dimensión de Proceso.....	43
Figura 13	Distribución de las actividades económicas según la dimensión de Salida	45
Figura 14	Factores considerados en cada dimensión.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Medida de adecuación muestral KMO y prueba de esfericidad de Barlett para cada dimensión.....	37
Tabla 2	Varianza total explicada por dimensión.....	39
Tabla 3	Ponderaciones factoriales en la dimensión de Entrada	39
Tabla 4	Ponderaciones factoriales en la dimensión de Proceso	42
Tabla 5	Ponderaciones factoriales en la dimensión de Salida.....	44
Tabla 6	Índices intermedios para cada dimensión (valor y rango).	47
Tabla 7	Índice de Innovación Tecnológica y sus dimensiones	49

Resumen

Las nuevas tecnologías poseen un gran potencial de desarrollo durante las próximas décadas. Dado el gran impacto que dichas tecnologías pueden llegar a tener en las compañías, en este trabajo se analiza el posible impacto que la adopción de dichas tecnologías tendrá sobre la estructura organizativa y la distribución de la plantilla de las empresas en el medio plazo. En particular, se estudian las siguientes tecnologías: la Inteligencia Artificial, la Robótica Industrial, la Interfaz Natural de Usuario y el Internet Global. Para ello, se analiza cada una de las tecnologías por separado y, a continuación, se muestran las relaciones que existen entre ellas. El estudio anterior se completa con la elaboración de un índice de innovación tecnológica que permita analizar en qué medida las empresas españolas se están adaptando al entorno cambiante que las rodea. Para ello, se lleva a cabo un análisis factorial, herramienta fundamental para la construcción de índices sintéticos. Los resultados del Índice de Innovación Tecnológica muestran que las actividades económicas relacionadas con el suministro de energía y agua y con la fabricación de productos farmacéuticos son las más innovadoras.

Abstract

New technologies have great potential for development over the coming decades. Given the large impact that these technologies can have on companies, in this work the possible impact that the adoption of these technologies will have on the organizational structure and the distribution of the workforce of the companies in the medium term is analysed. In particular, the following technologies are studied: Artificial Intelligence, Industrial Robots, Natural User Interface and Global Internet. To do this, we analyse each of the technologies separately and then the relationship between all of them. The previous study is completed with the proposal of an index of technological innovation which allows to assess how Spanish companies are adapting to the changing environment around them. To this end, it is carried out a factorial analysis, a fundamental tool for the construction of synthetic indices. The results of the Technological Innovation Index show that the economic activities related to energy and water supply and the manufacture of pharmaceutical products are the most innovative.

1. INTRODUCCIÓN

La empresa tal y como hoy la conocemos es el resultado de una continua evolución durante siglos. A golpe de avances tecnológicos y de nuevas formas de entender el mundo y los negocios ha ido mutando sus estructuras y sus objetivos hasta alcanzar el sistema organizativo que impera en nuestros días.

En la última mitad del siglo XX hemos vivido una transformación muy profunda de las estructuras empresariales, así como de las relaciones laborales. De todas ellas, la transformación que se produjo durante la revolución industrial es probablemente la que mejor pueda expresar la influencia que los avances tecnológicos tienen tanto en las estructuras como en la gestión de las compañías.

La conocida revolución industrial no fue un cambio violento en el que se pasó de una economía surgida durante la época del medievo a otra industrializada de un día para otro. Fue un proceso que se desarrolló a lo largo de varias décadas, y no precisamente en todos los países al mismo tiempo y a la misma velocidad (Martín, 2012). Cabe destacar que hubo países que comenzaron este proceso después de la Primera Guerra Mundial, y en algún caso, incluso más tarde.

La revolución industrial que comienza a mediados del siglo XVIII transformó de una forma inimaginable las estructuras de las empresas que existían en ese momento. Así, toda una serie de cambios en los procesos de mecanización –el nacimiento de la fábrica moderna, la concentración de los trabajadores en un mismo edificio fabril, la evolución a nivel jurídico y societario de las compañías, el nacimiento de los sindicatos y la patronal–, transformaron la manera que se tenía hasta entonces de gestionar las mismas (García *et al.*, 1998).

La industrialización dejó su huella principalmente en las empresas manufactureras. En el caso de las existentes en Europa y América, el cambio organizativo vino de la mano de un proceso de sucesivas mutaciones de gran lentitud que desembocó en un nuevo concepto de empresa (García *et al.*, 1998). Además de cambios en la organización, esta nueva realidad empresarial incluía cambios en las técnicas, los materiales y las relaciones humanas, entre otros aspectos. Si bien, fue totalmente necesario que todos los agentes implicados estuviesen predispuestos al cambio para que la revolución industrial tuviese el éxito que finalmente alcanzó (Martín, 2012).

La aparición de esas nuevas tecnologías permitió aumentar la producción al mismo tiempo que se incrementaba la productividad del trabajo y se ampliaban los mercados. En consecuencia, muchas de las empresas ya existentes pudieron transformar sus objetivos y comenzar un nuevo camino, a la vez que surgían muchas otras compañías en este momento de la historia (García *et al.*, 1998).

Las nuevas formas de empresa permitieron la fabricación en masa lo que se tradujo en unos menores costes unitarios. Lo anterior unido a una reducción de los costes de distribución motivó que la organización de las empresas se viese afectada y tuviese que amoldarse al nuevo entorno. Fue tras la finalización de todo este proceso cuando se impuso de forma definitiva el modelo de organización que hoy conocemos como *factory system* o fábrica moderna (García *et al.*, 1998). Dado el gran cambio que supuso en las empresas de entonces, este proceso de transformación es un claro ejemplo de cómo las tecnologías que surgen en cada momento pueden modificar las formas de organización de las empresas. Si bien, los cambios no habían acabado.

Los cambios sustentados en la ciencia continuaron en las décadas siguientes de la mano del *fordismo* (Martín, 2012). Henry Ford incorporó a su compañía lo que hoy se conoce como sistema de producción en serie. Este sistema empresarial tenía como seña de identidad la cadena de montaje, así como la programación, la ejecución y la homogeneización del ritmo de trabajo. Este nuevo sistema incrementó de forma notable la productividad de la compañía. Además, incorporó nuevas estrategias para poder mejorar la relación entre empleadores y empleados así como, determinar la remuneración que estos últimos recibían como es el caso del acuerdo general sobre los salarios *five dollars day*¹ (Martín, 2012).

En definitiva, la evolución de la tecnología existente en cada momento, da como resultado nuevas tecnologías o importantes mejoras en las existentes. La predisposición de los empresarios, así como de los pioneros en el mundo empresarial, fuerzan a los demás a incorporar estas nuevas herramientas, produciendo procesos de transformación imparables que tienen como objetivos principales el incremento de la producción y la productividad, así como la reducción de costes.

¹ Este acuerdo general sobre los salarios consistía en un aumento del salario nominal de 2,5 a 5 dólares diarios. Si bien, los trabajadores con menos de seis meses de antigüedad, los jóvenes menores de veintiún años y las mujeres no podían beneficiarse de este convenio.

La era de la tecnología en la que nos encontramos inmersos hoy en día está afectando, como no podía ser de otra manera, a todos los ámbitos de la vida incluido el empresarial. Las nuevas y mejores formas de comunicación, los materiales actuales y los importantes desarrollos en el campo de la informática, entre otros, están propiciando un nuevo proceso de transformación de las empresas que comenzará a hacerse patente en los próximos años y/o décadas y que desembocará en una nueva realidad empresarial.

En este contexto, el principal objetivo de este trabajo es estudiar el posible impacto que la adopción de las nuevas tecnologías tendrá sobre la estructura organizativa y la distribución de las plantillas de las empresas. Para ello, nos centraremos en la futura evolución de las tecnologías que son consideradas clave en este proceso de transformación: la Inteligencia Artificial, la Robótica Industrial, la Interfaz Natural de Usuario y el Internet Global. Dado que la innovación tecnológica es la principal fuerza motriz del crecimiento económico en los países desarrollados, el estudio anterior se completa con la elaboración de un índice de innovación tecnológica que permita analizar en qué medida las empresas españolas se están adaptando al entorno cambiante que las rodea. Para ello, se lleva a cabo un análisis factorial, herramienta fundamental para la construcción de índices sintéticos.

La estructura de este trabajo es la siguiente. En la segunda sección se presenta la empresa tal y como se conoce en la actualidad. En los siguientes cuatro apartados, se describen las diferentes tecnologías que la literatura postula como influyentes en el presente proceso de transformación: la Inteligencia Artificial, la Robótica Industrial, la Interfaz Natural de Usuario y el Internet Global. Seguidamente, se propone un índice de innovación para las empresas españolas. Por último, se exponen las principales conclusiones y líneas futuras de trabajo que se derivan de este estudio.

2. LA EMPRESA EN LA ACTUALIDAD

Hoy en día existen empresas de todos los tamaños y sectores. A pesar de que todas y cada una de ellas tienen sus particularidades, se pueden encontrar semejanzas entre aquellas que son similares en cuanto al número de empleados y la capacidad productiva. En el caso de las empresas manufactureras, es relativamente fácil “visualizar” su

estructura organizativa ya que, el hecho de que produzcan bienes tangibles hace posible el seguimiento del proceso de producción de principio a fin.

Los autores James Womack, Daniel Jones y Daniel Ross² –amparados por el Massachusetts Institute of Technology– llegaron a la conclusión de que el sistema de gestión que nació en Japón, y conocido como el sistema Toyota o *Just In Time*, era el más eficiente en cuanto a organización industrial. Este modelo, que se extendió rápidamente al resto de empresas, permitió mejorar la competitividad debido a que un pilar fundamental del mismo era suministrar la cantidad exacta de mercancía demandada por el mercado en cada momento, eliminando los costes de almacenaje.

Y es en este mismo momento cuando comenzó una nueva fase de transformación de las empresas y sus formas de gestión sustentada en los avances tecnológicos de la época. Este proceso, cuyo desarrollo tuvo lugar principalmente a lo largo de las últimas tres décadas del siglo XX, se ha convertido en un factor clave de lo que hoy conocemos como globalización (Martín, 2012).

La globalización es un proceso que se caracteriza principalmente por un fuerte incremento de la competencia a nivel internacional junto a un alto ritmo de creación y destrucción de empresas. También ha ocasionado una reducción en el ciclo de vida de los productos y de las innovaciones, llevando a las empresas a reorganizar sus estructuras. Así, las empresas han dejado atrás el modelo *fordista* y han adoptado el modelo de empresa en red para lograr una mayor flexibilidad (Martín, 2012).

Este cambio tecnológico –sustentado principalmente en la evolución de la microelectrónica, la informática y las telecomunicaciones– ha influido de manera especial en el conocimiento y en la forma en la que es transmitido (Martín, 2012). Los nuevos elementos tecnológicos, que permiten realizar un mejor y más veloz tratamiento de la información, han posibilitado, a su vez, el desarrollo de automatismos en los procesos fabriles que han favorecido el desarrollo exponencial de las nuevas industrias.

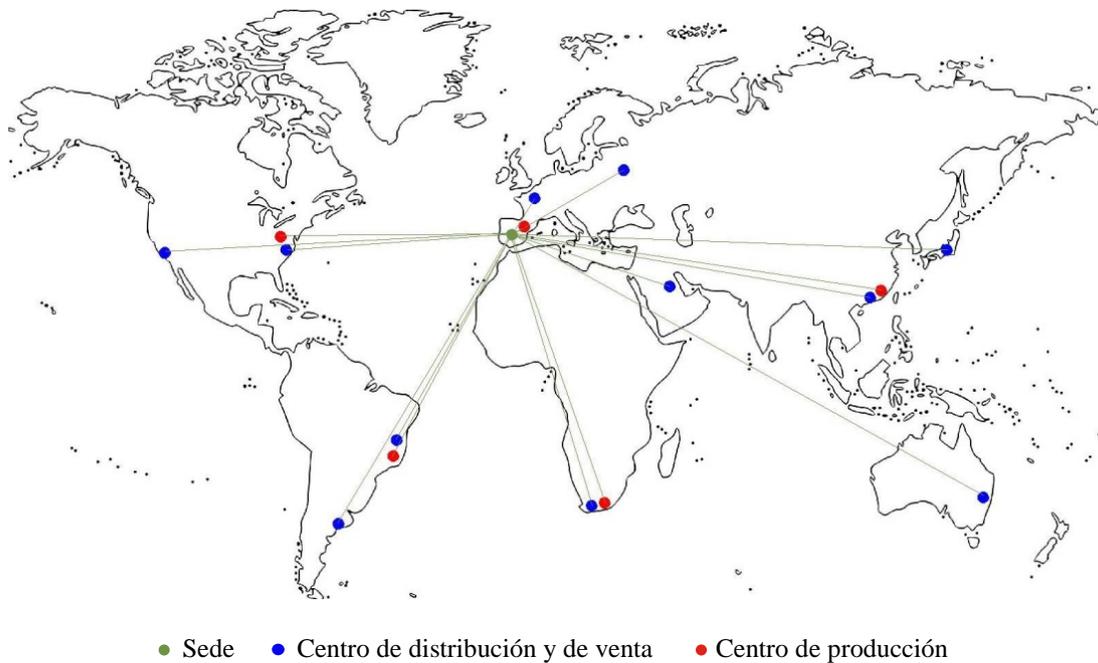
La empresa en red suele estar formada por una gran compañía matriz que llega a acuerdos con otras de menor tamaño que actúan como proveedores, distribuidores y/o productores de la primera. En estos casos, la empresa matriz, que ha externalizado

² Ver Womack *et al.* (1990).

muchos de sus procesos y servicios, conserva para sí misma las funciones de diseño, calidad, plazos y costes. Este desarrollo de la empresa en red lleva aparejado otro proceso conocido como deslocalización. El empleo de la externalización por parte de la empresa matriz conlleva que determinadas actividades sean encargadas a otras compañías, ya sean nacionales o extranjeras, siendo esta última decisión tomada en función de los costes que tenga asociados cada una de las opciones. Debido a que estos trabajos son habitualmente encargados en otras zonas geográficas distintas a donde se sitúa la empresa matriz, se produce un proceso por el cual una serie de fábricas son clausuradas y trasladadas a otras partes del globo.

Hoy en día, la empresa en red es el modelo empresarial que impera en el mundo desarrollado. Este prototipo de empresa es el resultado de la evolución de las tecnologías que emplea el ser humano, así como del conocimiento que atesora, y es a su vez la base sobre la que se sustentarán las empresas del futuro. La Figura 1 muestra la deslocalización asociada a una supuesta empresa manufacturera que sirve como ejemplo de lo que hoy en día es una empresa en red.

Figura 1. Deslocalización de una empresa industrial en la actualidad

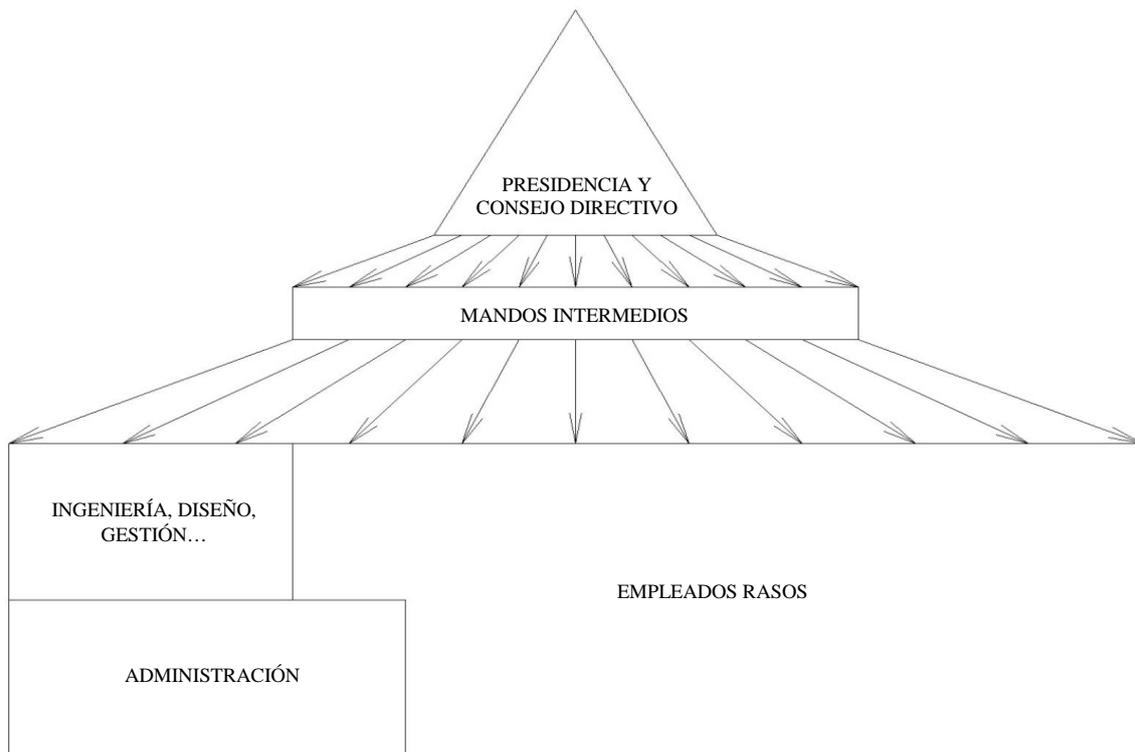


Fuente: elaboración propia.

En la Figura 1 se puede observar una empresa matriz situada en España que se enlaza a otros centros en los que se realizan distintas funciones tales como producción, almacenaje o distribución. Como se refleja en el mismo, a través de un análisis de los costes, la empresa matriz decide trasladar desde su entorno a esas nuevas localizaciones los distintos trabajos, tejiendo una extensa red a lo largo de todo el planeta.

En la Figura 2 se ilustra la distribución de la plantilla de una supuesta empresa manufacturera que sirve como ejemplo de lo que es hoy en día una empresa en red. Para ello, se consideran los tres escalafones más importantes de la misma.

Figura 2. Distribución de la plantilla de una empresa industrial en la actualidad



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, en un primer bloque se encuentran la presidencia y el consejo directivo que son los encargados de tomar las decisiones más importantes de la empresa. Posteriormente se hallan los mandos intermedios que, además de tomar las decisiones del día a día, se ocupan de llevar a cabo los proyectos de la compañía. El

último escalafón se puede dividir, a su vez, en tres bloques: el personal encargado de la ingeniería, el diseño y la gestión; la administración y, en una proporción mayor, los empleados rasos.

Una vez analizada la situación de la empresa en la actualidad, en los siguientes apartados se analiza el posible impacto que la incorporación de la Inteligencia Artificial, la Robótica Industrial, la Interfaz Natural de Usuario y el Internet Global en las empresas tendrá sobre la estructura organizativa y la distribución de la plantilla de las mismas. Para ello se toman como referencia las Figuras 1 y 2, esto es, el grado de deslocalización y la distribución de la plantilla de una empresa en la actualidad.

3. INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Se lleva más de medio siglo hablando sobre Inteligencia Artificial³, concretamente desde que se empezaron a crear los primeros ordenadores. Durante este tiempo, el ser humano ha estado investigando para conseguir que los ordenadores sean tan o más inteligentes que él mismo, pero ¿qué es exactamente la Inteligencia Artificial?

La primera vez que se mencionó el término de Inteligencia Artificial fue en la Conferencia de Dartmouth de 1956. Quien acuñó este término fue John McCarthy para nombrar una nueva área tecnológica. El estudio de la Inteligencia Artificial se nutre de diversas ramas de la ciencia como son la física, la filosofía, la psicología, etc., pero todas ellas con un objetivo común que no es otro que el de crear máquinas inteligentes. Así, cualquier sistema basado en Inteligencia Artificial será capaz de responder a dos preguntas: ¿qué es probable que suceda en el futuro? y ¿cuál es la mejor decisión en este momento?

La Inteligencia Artificial encuentra el caldo de cultivo perfecto para provocar una serie de efectos que escribirán nuevas páginas tanto en la economía como en los negocios, así como, un cambio en nuestro estilo de vida y una profunda transformación social (Rao, 2010). Un claro ejemplo del amplio potencial de la Inteligencia Artificial se encuentra en el campo de la gestión de crisis. Para gestionar la complejidad del momento en toda crisis o desastre, la Inteligencia Artificial se muestra como el recurso principal del

³ También conocida por el acrónimo IA.

futuro, ya que la velocidad en la gestión de la información y en la toma de decisiones es importantísima a la hora de salvar vidas (Lauras y Comes, 2015) y, en esto, la Inteligencia Artificial aporta velocidad en la gestión de los datos, facilitando una resolución rápida (O'Leary, 2013).

Si bien, la Inteligencia Artificial se expandirá a todos los ámbitos de la vida y, como se ha mencionado con anterioridad, el mundo de los negocios no será una excepción. Sus virtudes permitirán una rápida reducción de costes, mejorando los resultados empresariales y, por tanto, los beneficios de los accionistas, objetivos principales de toda empresa. No debemos obviar que la empresa cumple también un fin social, y este es la de servir al conjunto de la sociedad.

La Inteligencia Artificial facilitará que las empresas puedan estar preparadas ante el futuro del mercado de valores. Del mismo modo, será capaz de predecir los movimientos de las bolsas mundiales, prever crisis y escaseces de determinados recursos.

Asimismo, contar con dispositivos de Inteligencia Artificial permitirá anticipar posibles fraudes, mejorar la confianza y la seguridad del inversor y del cliente, optimizar los sistemas de almacenaje hasta conseguir eliminar por completo el stock mediante la predicción de la demanda y mejorar notablemente la lucha contra el abuso de poder y el uso de información privilegiada.

Prueba de todo lo anterior es la gran transformación que está teniendo lugar hoy en día con la aparición del negocio electrónico, el cual está conformado, entre otros aspectos, por la firma electrónica, la factura electrónica, el comercio electrónico, los pagos electrónicos y la banca móvil. En respuesta a la competencia global, las empresas están empleando cada vez más Tecnologías de la Información y la Comunicación para hacer negocio de forma electrónica (Wu, 2010). Este nuevo tipo de negocio está mejorando la eficiencia tanto en la vida empresarial como en la individual. Así, la minimización u optimización de los procesos de trabajo y de negocio está cambiando la era industrial por otra digital, favoreciendo los entornos e-business (Rao, 2010).

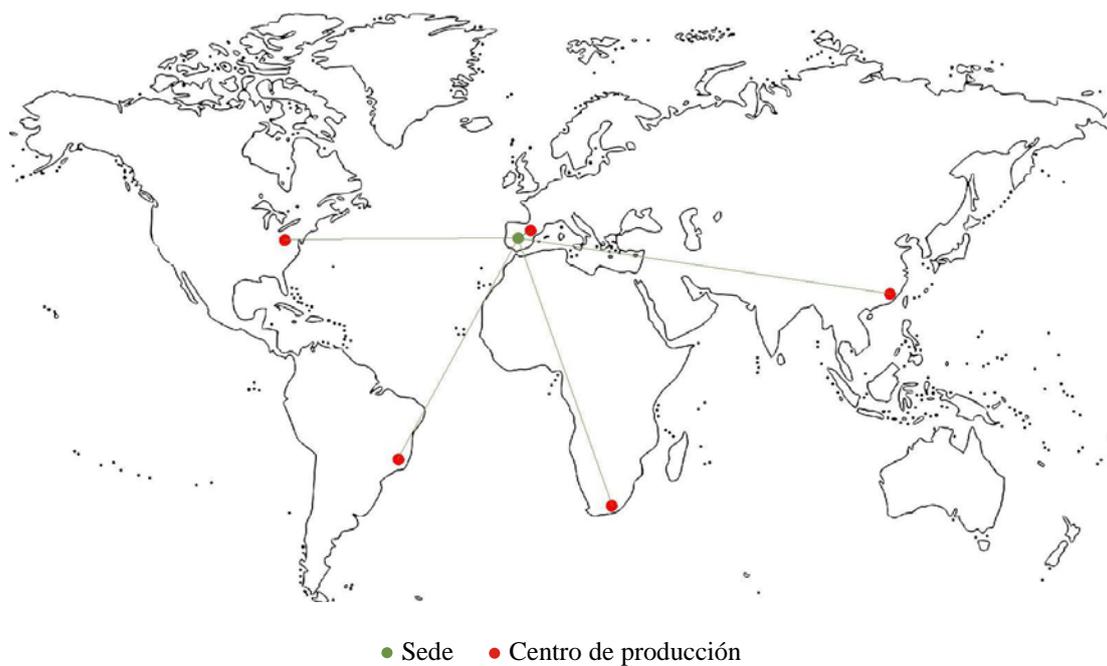
De igual modo, la Inteligencia Artificial también será utilizada para diseñar los distintos productos ofertados por las empresas. A medida que la incorporación de esta tecnología

se incremente, su uso se irá extendiendo hasta llegar a un punto en el que dicho diseño será prácticamente hecho al cien por cien por ordenadores.

Otro de los aspectos importantes en los que la Inteligencia Artificial será importante es en el flujo de información dentro de las empresas. Éstas requieren que el mencionado flujo de información sea constante y eficiente de una etapa a otra dentro del ciclo de producción, con el objetivo de lograr el cumplimiento de los requisitos del cliente y, a la vez, ser competitiva. Así, la información sobre el producto podrá ser compartida de manera instantánea entre los diferentes niveles y actividades de la empresa, permitiendo una eficiente toma de decisiones (Marchetta y Forradellas, 2010).

Una de las características más importantes que debe tener un buen empresario es la capacidad de adelantarse a sus competidores, ver las tendencias antes de que estas sean globales. Si éste es capaz de entender la importancia que va a tener la Inteligencia Artificial en un futuro, a medio plazo podrá ir realizando los cambios necesarios en su propia empresa de forma que pueda encarar el futuro de la forma más eficaz.

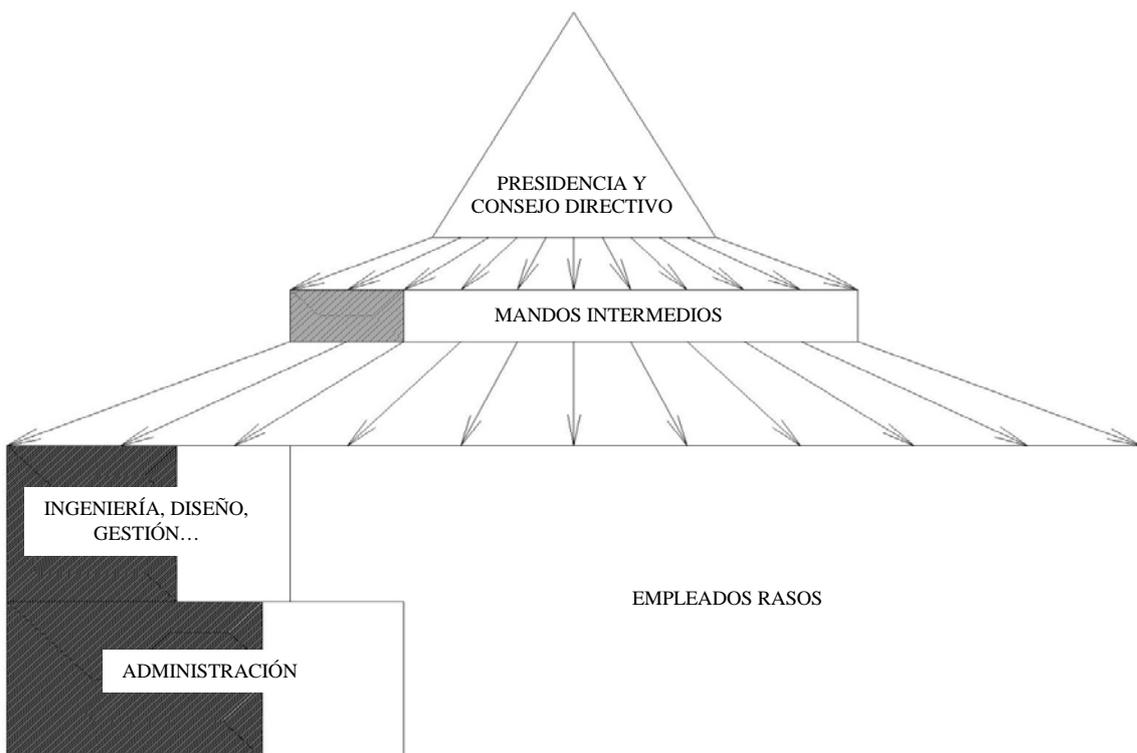
Figura 3. Deslocalización de una empresa industrial tras la incorporación de Inteligencia Artificial



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 3 se muestra el efecto que tendrá la introducción de Inteligencia Artificial en la gestión diaria de la empresa. Las subsedes o empresas subsidiarias que se verán afectadas de forma más significativa serán aquellas que se encargan de la gestión, del diseño, de la administración..., es decir, los centros de distribución y de venta representados en la Figura 1. El hecho de poder tramitar la información, realizar el diseño y dirigir la gestión desde unidades digitales provocará el cierre de todos los centros de distribución y de venta, dado que cada una de sus funciones podrán ser llevadas a cabo desde la sede central. Tal y como se representa en la Figura 3, en la futura red sólo se mantendrían la sede y los centros de producción, los cuales, como veremos más adelante, podrían reducirse e incluso concentrarse en uno solo.

Figura 4. Reducción de la plantilla de una empresa industrial tras la incorporación de Inteligencia Artificial



Fuente: elaboración propia.

Si bien no solo la red de la empresa va a variar, la plantilla también se verá afectada por el mismo proceso. El hecho de disponer de dispositivos muy potentes cuyo software

esté basado en la Inteligencia Artificial conllevará la reducción del personal de determinados departamentos. De este modo, la dependencia que tendrán las empresas de estos dispositivos presionará a favor de una reducción de la plantilla en las áreas de ingeniería, estrategia, planificación..., transformando las empresas en sus niveles intermedios. Un ejemplo de esto último sería el caso de un ingeniero que se dedica al diseño de la aerodinámica de un coche. Si una máquina cuyo software está basado en Inteligencia Artificial es capaz de diseñar de forma completa la aerodinámica, y además es capaz de prever los gustos y necesidades de la población concreta a la que va dirigida dicho vehículo, la razón de existir del mencionado ingeniero desaparece.

En la Figura 4 se ilustra el efecto que tendrá la introducción de Inteligencia Artificial en la distribución de la plantilla de una supuesta empresa manufacturera. Tomando como punto de partida el esquema representado en la Figura 2 del apartado anterior, una vez que el empresario decida introducir Inteligencia Artificial en su empresa, la plantilla se verá afectada de la siguiente manera. El número de empleados con responsabilidades en los departamentos de ingeniería, diseño, gestión...; en los mandos intermedios o en la administración, se verá reducido de forma muy notable. Aunque cada vez ocuparán menos puestos dentro de la empresa, no llegarán a desaparecer por completo dada la necesidad de que haya siempre personal que sepa comprender lo que los distintos equipos están realizando. Por el contrario, el número de empleados rasos no sufrirá una modificación relevante tras la incorporación de la Inteligencia Artificial. Si bien, como se estudia más adelante, no van a quedar a salvo del avance de otro tipo de tecnología.

4. ROBÓTICA INDUSTRIAL

La productividad del sector industrial ha avanzado durante las últimas décadas gracias a la incorporación en las cadenas de producción de distintos mecanismos y herramientas automatizadas, que se han ido desarrollando a medida que la ciencia ha ido creando nuevas tecnologías.

Las máquinas que se asemejan a los seres humanos o a los animales han sido objeto de interés para la humanidad desde hace siglos. Este deseo de crear máquinas capaces de

trabajar data desde los antiguos egipcios y griegos⁴. Sin embargo, las máquinas que entendemos hoy en día por robots⁵ –esto es, aquellas que incorporan al menos un ápice de inteligencia computacional– existen únicamente desde hace unas pocas décadas (Graefe y Bischoff, 2003). Así, la creación del primer robot humanoide⁶ se remonta al año 1937, el cual fue creado por Westinghouse Electric Corporation (Pittsburgh).

La robótica práctica tiene su origen en fábricas cuyo proceso de producción estaba basado en líneas de montaje, donde la velocidad, la precisión y la fiabilidad eran muy importantes (Jarvis, 2008). A raíz de la obra teatral de Čapek en 1921 –en la que los robots que construye una empresa, para aligerar la carga de trabajo de las personas, terminan enfrentándose a la sociedad y acabando con la humanidad–, las personas empiezan a tener miedo de que los robots puedan sustituirles en la línea de montaje, sentimiento que todavía perdura en el presente. Algunos interpretaron la obra de Čapek como una advertencia, llegando a la conclusión de que los robots serían una especie de cura para el trabajo humano, pero a su vez peor que la enfermedad original (Camarillo *et al.*, 2004).

Un robot es un dispositivo mecánico reprogramable, controlado por un ordenador, equipado con sensores y actuadores cuyas aplicaciones van más allá del ámbito industrial. En áreas como la agricultura, la exploración espacial, militar u oceanográfica, la educación y la cirugía, la robótica se ha ido introduciendo de forma paulatina (Camarillo *et al.*, 2004).

El desarrollo de la robótica ha sido motivado con frecuencia por la necesidad de manipular materiales peligrosos –tanto venenosos como radioactivos–, surgiendo los primeros manipuladores a distancia, o sistemas de teleoperación, en la década de 1940 (Camarillo *et al.*, 2004). En la actualidad, el uso de robots en la industria es limitado

⁴ Entre las primeras máquinas autómatas se incluyen un artefacto con fuego, un órgano de viento, una máquina operada mediante una moneda y una máquina de vapor desarrollados por Ctesibio, Filón y Herón en el siglo I a.C. En 1206, Al-Jazari creó el “Barco con cuatro músicos robotizados” convirtiéndose en el primer robot humanoide programable. Cabe destacar también el pato mecánico ideado por Jacques de Vaucanson en 1738. De la mano de Karakuri Hisashige, en torno a 1800 aparecen los primeros juguetes mecánicos japoneses, algunos de los cuales servían el té, disparaban flechas o realizaban ilustraciones.

⁵ La palabra robot fue utilizada por primera vez, en la obra *Rossumovi Univerzální Roboti* (Robots Universales Rossum) del dramaturgo checo Karel Čapek en 1921.

⁶ Apodado como Elektro.

debido, en parte, a que su desarrollo no ha logrado por el momento un gran éxito en cuanto a tolerancias en geometría y proceso. No obstante, una vez traspasada esta frontera, es probable que se dispare la inversión en ellos para su incorporación a la industria (Brogårdh, 2007).

El hecho de que los robots no trabajen todavía al lado de seres humanos y/o en ambientes peligrosos viene explicado principalmente por los siguientes tres factores. En primer lugar, la falta, hasta hace apenas unos años, de sensores relativamente baratos y de la tecnología computacional necesaria ha sido un agente decisivo. En segundo lugar, también ha influido el hecho de que muchas de las actividades llevadas a cabo en la actualidad sean realizadas de forma más fácil por personas que por robots. En este sentido, importantes esfuerzos en el desarrollo de Inteligencia Artificial y procesos metodológicos han dado, por el momento, resultados modestos en cuanto a su aplicación comercial, seguridad, fiabilidad y coste. Por último, y no por ello menos importante, el costo que implica la tecnología robótica no ayuda a la hora de defender su despliegue en las empresas, aunque la necesidad sea motivo suficiente para impulsar dicha tecnología en su correspondiente ámbito de aplicación (Jarvis, 2008).

La investigación y desarrollo de robots industriales se caracteriza por el uso de distintas disciplinas tecnológicas (Brogårdh, 2007). En particular, una de las principales áreas de interés es el despliegue de enjambres que permitan la cooperación entre agentes robóticos y diversas estrategias de inteligencia colectiva. Así, diversos estudios demuestran que, utilizando esta técnica, inspirada en las conductas sociales de los insectos, se pueden llevar a cabo ciertas tareas de forma más eficaz (Jarvis, 2008).

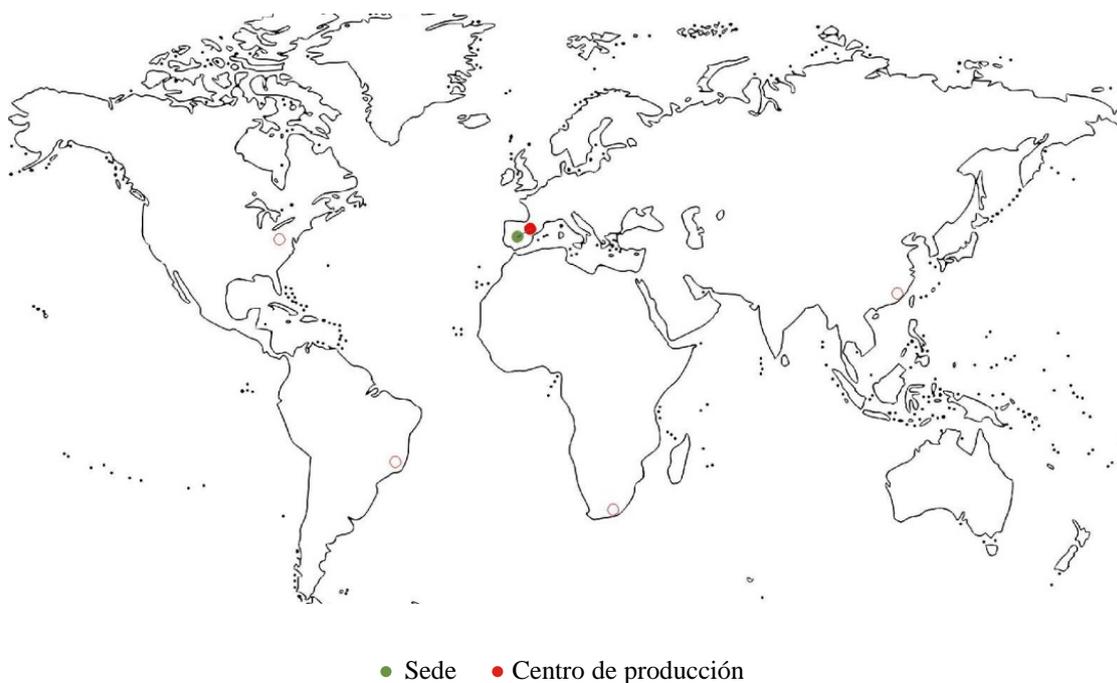
Parte de la investigación en robots y en su tecnología se centra en la mejora de los costes de producción y mantenimiento. Para poder incorporarlos de forma eficiente y eficaz no solo deben ser capaces de hacer su trabajo de forma exitosa, sino que deben hacerlo a un coste menor que el asociado a la producción llevada a cabo por personas.

Cabe esperar que el precio unitario de los robots se reduzca una vez se incremente su producción como ocurrió en su día con los automóviles u ordenadores personales (Jarvis, 2008). En el futuro los robots industriales serán de suma importancia cuando sea posible reducir el coste de producción, especialmente en aquellos procesos en los que puedan trabajar más de un robot en paralelo. Además, en el futuro varios de ellos

podrán ser supervisados desde un mismo controlador (Brogårdh, 2007). La flexibilidad que proporciona la programación, junto a un operador experto, permitirá que los robots lleven a cabo tareas muy complejas e incluso, llegado el caso, que puedan cambiar en un corto plazo dichas tareas por otras diferentes al modificar la programación inicial (Jarvis, 2008).

En el futuro los robots industriales se encontrarán en espacios cerrados como las actuales fábricas, pero también migrarán a procesos totalmente estructurados en entornos mucho más complejos, como bajo el agua o en el aire. Lo anterior permitirá muchísimas aplicaciones que hoy en día son totalmente imposibles de imaginar, y para ello será necesario un importante desarrollo en sensores e inteligencia artificial. Para todo esto, será necesario el desarrollo de robots que sean capaces de interactuar y comunicarse entre ellos, con los seres humanos y con el medio ambiente (Ge, 2007). En definitiva, el panorama general para el desarrollo de la robótica inteligente es muy positivo, pero más evolutivo que revolucionario (Jarvis, 2008).

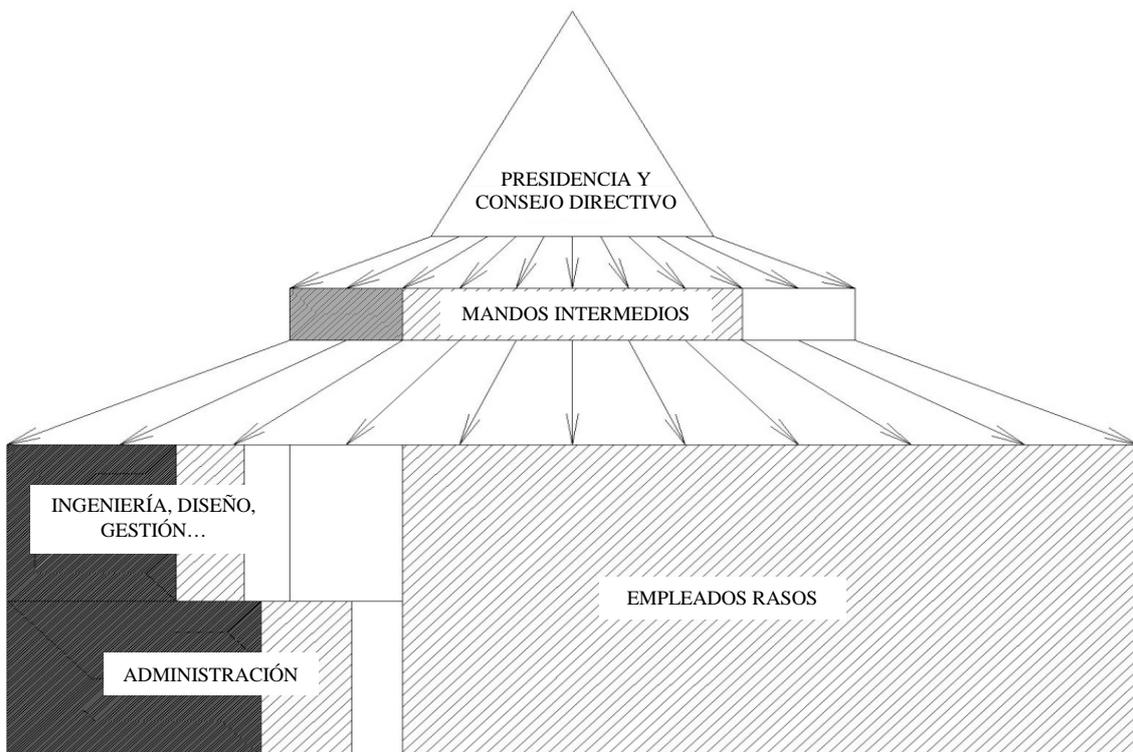
Figura 5. Deslocalización de una empresa industrial tras la incorporación de Robótica Industrial



Fuente: elaboración propia.

Con el análisis anterior podemos hacernos una idea de cómo va a ser el futuro de las empresas, principalmente de las industriales. En la Figura 5 se muestra el efecto que tendrá la introducción de la Robótica Industrial en la gestión diaria de la empresa. Al disminuir drásticamente el coste de la plantilla, los principales nuevos costes serán de energía y agua –según el proceso–, inversión en nueva maquinaria, mantenimiento e impuestos. Las empresas podrán fijar sus instalaciones de producción en uno o en varios puntos, tal y como lo hacen ahora. Si bien, la decisión final sobre cuánto producir vendrá determinada por estos nuevos factores, cuyo peso no era tan importante anteriormente, y a los que habrá que sumar los costes de transporte. De esta forma, una empresa podrá llegar a “existir” en un punto geográfico muy pequeño, con independencia de que su producto sea vendido en todo el mundo.

Figura 6. Reducción de la plantilla de una empresa industrial tras la incorporación de Robótica Industrial



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 6 se ilustra el efecto que tendrá la introducción de la Robótica Industrial en la distribución de la plantilla de una supuesta empresa manufacturera. La incorporación de la robótica a los procesos de producción irá acentuando la reducción de plantilla mencionada en el apartado anterior. Las personas irán “desapareciendo” de los procesos de producción, siendo sustituidas por robots capaces de hacer su trabajo de forma más rápida y barata. La incorporación de estas nuevas herramientas con múltiples sensores, sumado a la Inteligencia Artificial, afectará tanto a los puestos de los trabajadores menos formados como a los empleados de nivel superior, encargados hoy en día de gestionar grupos de personas, evaluar el trabajo y realizar mejoras del proceso, entre otras tareas.

5. INTERFAZ NATURAL DE USUARIO

Steve Ballmer, director ejecutivo de Microsoft, recientemente señaló que el año 2010 pasará a la historia como el año en el que se ampliaron las formas de interactuar con los dispositivos informáticos. Ese año se fue más allá del teclado y el ratón incorporando formas “más naturales” de interacción, como el tacto, el habla, los gestos, la escritura e incluso la visión, es decir, se empezó a conocer lo que los científicos denominaron como Interfaz Natural de Usuario (en inglés *Natural User Interface* o NUI).

Esta tecnología supone un gran avance respecto a los actuales teclados y ratones. Estos dos periféricos de entrada son herramientas básicas de cualquier ordenador, ya sea en casa o en la empresa, que han ido evolucionando con el tiempo. A modo de ejemplo, al primer modelo de ratón, que tenía únicamente un botón, se le fueron incorporando más opciones de forma paulatina.

Con el paso de las décadas y el avance de la tecnología, se fueron inventando e incorporando a nuestros ordenadores nuevas formas de comunicación entre el software y el usuario. Así, se empezó a usar el micrófono, junto con determinados softwares, para manejar los equipos.

En los últimos años han ido apareciendo nuevas formas de comunicación con los dispositivos promovidas, principalmente, por el avance tecnológico. Así, las pantallas

táctiles o una comunicación por voz más refinada han sido incorporadas con notable éxito en los actuales *smartphones* y *tablets*.

El avance de la ciencia y el desarrollo de las NUIs permitirá una comunicación entre usuario y ordenador que no necesite de elementos físicos, sino que se lleve a cabo a través de los gestos o la voz.

La interacción gestual es una de las investigaciones que más entusiasma a los científicos. Los avances en el tamaño, la capacidad y el coste de los microprocesadores, memorias, cámaras y otros dispositivos de detección están contribuyendo a que se pueda controlar dichos dispositivos a través de gestos manuales o movimientos corporales con más eficacia. Los gestos constituirán una parte muy valiosa de los distintos métodos de interacción con los dispositivos electrónicos, pero todavía precisan de un mayor desarrollo para que su eficacia sea la suficiente y para que se normalicen los movimientos que tengan un significado específico en cada uno de los sistemas existentes (Norman, 2010).

La interfaz más desarrollada y extendida actualmente, más allá del teclado y el ratón, y después de las pantallas táctiles, es el control por voz. El lenguaje natural puede proporcionarnos un entorno de servicios de navegación de voz integrado. Los sistemas de voz integrada pueden permitir al usuario mantener un dialogo conversacional cooperativo para resolver las distintas situaciones. Con un sistema más refinado, el controlador del sistema puede llegar a realizar consultas, ordenes u otras solicitudes utilizando un lenguaje natural (Kennewick *et al.*, 2012).

El gesto, el lenguaje corporal, la proximidad, la ubicación, la mirada, la expresión de los ojos y la biometría, vendrían a sustituir a los sistemas de mando o dispositivos de entrada. Por su parte, los componentes de salida se definen como la forma en la que el sistema ofrece al usuario los resultados requeridos. En este sentido, el desarrollo de mecanismos de salida está orientado a aprovechar casi todos los sentidos humanos –vista, oído, olfato y tacto– (Jain *et al.*, 2011).

Estas nuevas interfaces van a mejorar la interacción entre el controlador y la máquina, con una sensación de control y empoderamiento mucho mayor que la actual, e incluso mejorando la experiencia a nivel sensitivo (Norman, 2010).

La incorporación de las NUIs en las empresas permitirá que cualquier empleado pueda comunicarse con su ordenador desde cualquier sitio, sin necesidad de estar en un escritorio o en un lugar fijo. De esta forma, los trabajadores serán más “libres”, mejorando la movilidad de los mismos dentro y fuera de la empresa. El hecho de que los empleados puedan usar las mencionadas vías de comunicación con sus equipos, desde cualquier sitio de la empresa o desde cualquier sede u oficina de la misma, o incluso desde su propia casa, permitirá que el trabajo de los mismos sea mucho más dinámico y resolutivo, mejorando la calidad del mismo, así como, la productividad de todos y cada uno de ellos.

La presencia de las NUIs es incuestionable y, poco a poco, se van a ir incorporando a la vida cotidiana y a la empresa. Ahora mismo, están escribiendo nuevas páginas sobre las reglas y directrices que van a caracterizar la forma de interactuar del ser humano con los aparatos electrónicos en el futuro (Norman, 2010).

6. INTERNET GLOBAL

Internet es la base fundamental sobre la que se asienta la sociedad del conocimiento. Durante las últimas décadas, el desarrollo y el despliegue de las distintas redes de conexión han ido de la mano de los necesarios cambios en la “arquitectura” que conforma todo el sistema.

El uso de Internet ha sido cada vez mayor gracias al incremento de su rendimiento y de las posibilidades de conexión. Hace apenas diez años la posibilidad de uso de nuestros *smartphones* era sólo un vaticinio; sin embargo, hoy en día, es posible “conectarse” con un pequeño dispositivo que nos abre la puerta a un mundo de servicios y contenidos.

Al igual que los *smartphones* han supuesto un gran cambio en la manera en la que el ser humano se comunica y en las relaciones humanas, a través de las redes sociales que en ellos se alojan; en la actualidad, se está iniciando una revolución que transformará los servicios de Internet para las empresas.

En el año 2005, un equipo de investigadores realizó las siguientes previsiones sobre cómo sería Internet dentro de una década, esto es, en el año 2015:

“Debería haber una conexión de bajo coste en todas partes, una infraestructura abierta adaptada para la comunicación con dispositivos informáticos de bajo coste, tales como sensores y controladores”.

“Cualquier objeto físico debería ser capaz de estar vinculado a la información y a las funciones relevantes del ciberespacio”.

“Debería existir una arquitectura local de comunicaciones que permita la interconexión local de decenas o cientos de dispositivos de pequeño tamaño, con un precio-rendimiento que suponga un menor o mayor coste en función del ancho de banda”.

“Internet debería estar formado por un conjunto de mecanismos de diagnóstico y configuración que mejore la facilidad de uso del mismo y reduzca la necesidad de intervención”.

“La infraestructura de comunicaciones debería estar basada en una arquitectura que proporcione un marco coherente para la seguridad, un funcionamiento robusto y un ambiente fiable para los servicios y las aplicaciones”.

(Clark *et al.*, 2005, pp. 92-95)

El hecho de que, muchas de las situaciones previstas se hayan cumplido, otras estén en camino y el resto sean deseables de alcanzar en un futuro cercano, hace de Internet una tecnología en continuo desarrollo.

Una nueva tendencia en el campo de Internet, conocida como Internet de las Cosas, aborda el hecho de que todos los aparatos de uso cotidiano pueden ser conectados en red, reduciendo la brecha entre el mundo físico y el mundo digital (Martin *et al.*, 2011). El traslado de esta concepción al mundo empresarial va a propiciar que los negocios se desarrollen de forma exponencial, al permitir a las empresas que sus empleados puedan trabajar en cualquier punto del globo como si en una oficina común se tratase. Lo anterior será posible gracias a que la arquitectura de Internet se está convirtiendo, cada vez más, en un sistema sofisticado y complejo, con un montón de soluciones encaminadas a solventar los diferentes problemas que han surgido durante sus casi 40 años de existencia (Sanchez-Loro *et al.*, 2011). Así, la posibilidad de conectarse en cualquier lugar del planeta y en cualquier momento es el actual reto de los distintos agentes encargados del desarrollo de Internet.

El diseño de una nueva arquitectura de red requiere que ésta sea lo suficientemente flexible y adaptable a todo tipo de entornos para que no sea necesario hacer suposiciones sobre el entorno de ejecución, el soporte de la infraestructura o el conjunto mínimo de capacidades que debe tener el dispositivo. La arquitectura debe ser verdaderamente ubicua, proporcionando herramientas para el consumo de los servicios de red en cualquier momento y en cualquier lugar (Sanchez-Loro *et al.*, 2011). Este futuro diseño permitirá lo citado anteriormente con respecto a las posibilidades de las empresas y sus empleados. El futuro Internet será la verdadera red de la empresa de forma que la posibilidad de carecer de oficinas y entornos de trabajo, como se entienden hoy en día, permitirá tanto a los trabajadores como a sus jefes organizarse de la forma que otorgue el mayor rendimiento.

Para que todo lo anterior sea sostenido por la futura red, ésta deberá ser planificada y desplegada de forma que siempre posea una capacidad mayor a la necesaria para que pueda dar servicio, no solo a gobiernos o corporaciones empresariales de gran tamaño, sino también a las pequeñas empresas y a los domicilios desde los cuales los trabajadores trabajen.

7. ÍNDICE DE INNOVACIÓN PARA LAS EMPRESAS ESPAÑOLAS

Actualmente, se considera que la innovación tecnológica es la principal fuerza motriz del crecimiento económico en los países desarrollados y un factor importante para evolucionar social y culturalmente (INE, 2016). Si bien, cabe esperar que el ritmo del proceso de innovación no sea el mismo en todas las actividades económicas⁷ ni a lo largo del tiempo.

El carácter multidimensional del fenómeno de la innovación tecnológica da lugar a dos formas de análisis que, en cierto modo, pueden considerarse complementarias. Por un lado, se puede elaborar un sistema de indicadores de forma que cada uno de ellos evalúe y mida de manera independiente un aspecto relevante del fenómeno objeto de estudio. Por otro lado, se puede construir un índice sintético que resuma la información

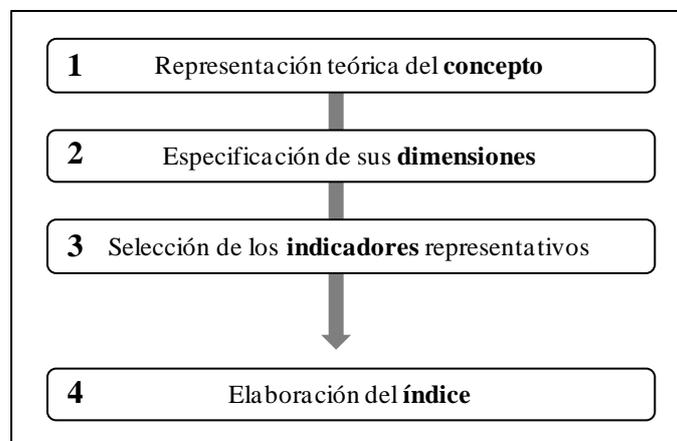
⁷ Este aspecto ya fue señalado por Pavitt (1984).

contenida en dicho sistema y, por tanto, permita abordar de forma conjunta toda la realidad que se desea explicar.

Durante la última década, se han desarrollado una serie de medidas de innovación elaboradas a partir de datos de empresas. Así, cabe destacar la propuesta de Adams *et al.* (2008) para medir el grado de innovación de doce sectores industriales del Reino Unido y el índice de innovación, aplicable a cualquier sector, desarrollado por Corbella (2010) para el caso español.

El objetivo que se plantea en este apartado es la construcción de un Índice de Innovación Tecnológica para las empresas españolas que permita realizar comparaciones espaciales y temporales. La fuente de datos utilizada es la Encuesta sobre Innovación en las empresas 2014 elaborada por el Instituto Nacional de Estadística (INE), la cual facilita información sobre las actividades innovadoras que realizan las empresas desglosada por actividades económicas⁸.

Figura 7. Fases del proceso de instrumentación de Lazarsfeld



Fuente: elaboración propia.

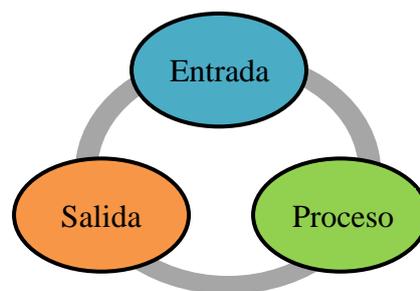
Para ello, se siguen las etapas marcadas por el proceso de instrumentalización de Lazarsfeld (1973). Como se puede observar en la Figura 7, este proceso comprende cuatro fases que tienen lugar de manera sucesiva: la representación teórica del concepto,

⁸Las actividades económicas analizadas se detallan en el Anexo 1.

la especificación de las dimensiones que definen el mismo, la selección de los indicadores representativos de cada dimensión y, por último, la elaboración del índice sintético.

Según Carayannis y Provan (2008) y Ashby y Mahdon (2009), un índice de innovación tiene que recoger tanto la innovación llevada a cabo por la empresa como la predisposición de la misma para incorporar innovaciones. Así, el índice que se propone está compuesto por tres subíndices de innovación que reflejan las siguientes dimensiones: innovaciones al inicio (Entrada), durante (Proceso) o al final (Salida) de la fase de producción, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Dimensiones del Índice de Innovación Tecnológica



Fuente: elaboración propia.

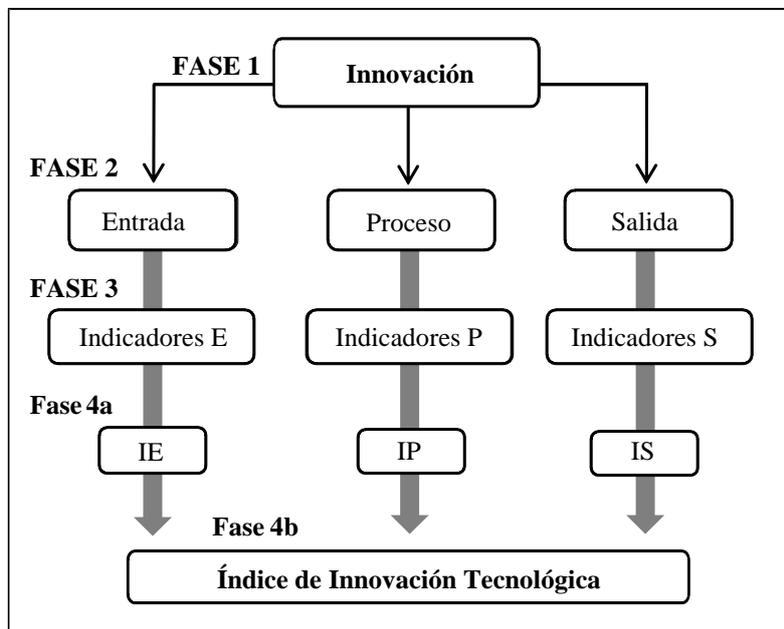
El subíndice Entrada refleja si la empresa está receptiva a la innovación. En particular se considera el desarrollo de I+D interna, la adquisición de bienes de capital, la formación de los trabajadores para actividades de innovación y la cooperación de la empresa con otras instituciones⁹. Por su parte, el subíndice Proceso recoge las innovaciones que se han incorporado a la empresa para mejorar su funcionamiento interno, incluyendo mejoras técnicas y organizativas. Por último, el subíndice Salida muestra las innovaciones que tienen lugar en el mercado, es decir, aquellas relacionadas con la creación de nuevos productos y/o servicios, la mejora en la calidad de los ya existentes y las nuevas vías de comercialización.

⁹ Empresas de su mismo grupo, empresas de su rama de actividad, consultorías o laboratorios comerciales, universidades u otros centros de enseñanza superior y centros de investigación públicos o privados.

7.1 METODOLOGÍA

Para la elaboración del Índice de Innovación Tecnológica se procede en dos etapas integradas dentro de la fase 4 del proceso de instrumentación de Lazarsfeld (ver Figura 9). La primera etapa de la fase 4 (4a) consiste en la obtención de un índice intermedio para cada una de las dimensiones consideradas: Índice de Entrada (IE), Índice de Proceso (IP) e Índice de Salida (IS). La segunda fase (4b) consiste en la agregación de los índices intermedios de la etapa anterior en una única medida.

Figura 9. Elaboración del Índice de Innovación Tecnológica



Fuente: elaboración propia.

Para abordar los dos objetivos anteriores se sigue la metodología propuesta por Peters y Butler (1970). Por un lado, en la primera etapa se llevan a cabo tres análisis factoriales paralelos para cada una de las dimensiones. El análisis factorial, técnica que se está consolidando como una herramienta fundamental para la construcción de índices sintéticos en la investigación social¹⁰, va a permitir la sustitución del conjunto original

¹⁰ Pena (1977) y Zarzosa (1996) reflejan la amplia literatura en torno a la utilización de técnicas de análisis multivariante en la construcción de índices. Pueden consultarse, entre otros, Escobar (2006; 2008), Gómez-Limón y Riesgo (2009) y Schuschny y Soto (2009).

de variables que integran cada una de las dimensiones por otro formado por variables no observables o factores de menor dimensión¹¹. Por otro lado, en la segunda etapa se agregan los índices intermedios de la etapa anterior en una única medida, ponderando cada uno de ellos en función de la varianza relativa explicada.

7.1.1 ANÁLISIS FACTORIAL

Sean X_1, X_2, \dots, X_p las variables tipificadas que se observan, el modelo de análisis factorial relaciona dichas variables observables con los factores de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} X_1 &= l_{11}F_1 + l_{12}F_2 + \dots + l_{1k}F_k + u_1 \\ X_2 &= l_{21}F_1 + l_{22}F_2 + \dots + l_{2k}F_k + u_2 \\ &\vdots \\ X_p &= l_{p1}F_1 + l_{p2}F_2 + \dots + l_{pk}F_k + u_p \end{aligned}$$

donde F_1, F_2, \dots, F_k son los factores comunes; u_1, u_2, \dots, u_p son los factores únicos o específicos y l_{ij} es el peso del factor j en la variable i , denominado también carga factorial o saturación de la variable i en el factor j .

Las ecuaciones del modelo se pueden expresar matricialmente como sigue:

$$X = LF + u.$$

Según la formulación anterior, cada una de las p variables observables es una combinación lineal de k factores comunes a todas ellas ($k < p$) y de un factor único para cada una. Como los factores comunes y los específicos son variables no observables, es necesario formular las siguientes hipótesis estadísticas sobre los mismos.

En primer lugar, se considera que los factores comunes son variables tipificadas e incorrelacionadas dos a dos. Según esta condición, la esperanza del vector de factores comunes es cero:

¹¹ Para una descripción más completa de esta técnica, véase el siguiente apartado, que puede complementarse con Mardia *et al.* (1979) y Peña (2002).

$$E(F) = 0,$$

y la matriz de covarianzas de los factores comunes es la matriz identidad:

$$E(F F') = I.$$

Por otra parte, se supone que la matriz de covarianzas de los factores únicos es una matriz diagonal, lo que implica que las varianzas de estos factores pueden ser distintas y que dichos factores están incorrelacionados dos a dos:

$$E(u u') = \Delta.$$

Asimismo, cada factor específico tiene media cero:

$$E(u) = 0.$$

Por último, para cada variable, los factores comunes deben de estar incorrelacionados con el factor único, es decir, la matriz de covarianzas entre los factores comunes y los factores únicos debe ser la matriz cero:

$$E(F u') = 0.$$

El modelo de análisis factorial cumple dos propiedades. En primer lugar, la matriz de covarianzas entre las variables observadas es:

$$\begin{aligned} V = E(X X') &= E[(LF + u)(LF + u)'] = LE(F F')L' + \\ &+ LE(F u') + E(u F') + E(u u) = LL' + \Delta. \end{aligned}$$

La matriz LL' contiene la parte común al conjunto de las variables, y la matriz diagonal, Δ , contiene la parte específica de cada variable independiente de las demás.

Además, la varianza de cada variable observada, σ_i^2 ($i = 1, \dots, p$), se puede expresar de la siguiente manera:

$$\sigma_i^2 = 1 = \sum_{j=1}^k l_{ij}^2 + \delta_i^2.$$

Denotando por,

$$h_i^2 = \sum_{j=1}^k l_{ij}^2,$$

se obtiene que:

$$\sigma_i^2 = 1 = h_i^2 + \delta_i^2.$$

Por tanto, la varianza de cada variable observada es la suma de los factores comunes o comunalidades, h_i^2 , y de los factores específicos o especificidades, δ_i^2 .

En segundo lugar, la correlación entre cada par de variables observables, X_i y X_h con $i \neq h$, viene dada por la siguiente expresión:

$$\rho_{ih} = \sum_{j=1}^k l_{ij} l_{hj}.$$

La teoría de componentes principales puede ser utilizada para obtener los factores comunes del modelo¹². Bajo este método de extracción, las componentes principales son expresadas como combinaciones lineales de las variables originales de la siguiente forma:

$$Y_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p$$

$$Y_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2p}X_p$$

$$\vdots$$

$$Y_p = a_{p1}X_1 + a_{p2}X_2 + \dots + a_{pp}X_p$$

donde X_1, X_2, \dots, X_p son las variables observadas e Y_1, Y_2, \dots, Y_p son las componentes principales.

La primera componente recoge la mayor proporción posible de la variabilidad original; la segunda explica la máxima variabilidad posible no recogida por la primera, y así sucesivamente. De esta forma, las componentes no están correlacionadas las unas con las otras. Del total de componentes se elegirán como factores aquellas que recojan el porcentaje de variabilidad que se considere suficiente.

Dado que el anterior sistema de ecuaciones es reversible, cada variable observada puede expresarse en función de las componentes principales de la siguiente manera:

¹² Existen diferentes métodos de extracción: componentes principales, mínimos cuadrados no ponderados, mínimos cuadrados generalizados, máxima verosimilitud, factorización de ejes principales, factorización alfa y factorización imagen (Valderrey, 2010).

$$X_1 = a_{11}Y_1 + a_{21}Y_2 + \dots + a_{p1}Y_p$$

$$X_2 = a_{12}Y_1 + a_{22}Y_2 + \dots + a_{p2}Y_p$$

⋮

$$X_p = a_{1p}Y_1 + a_{2p}Y_2 + \dots + a_{pp}Y_p$$

donde la matriz de coeficientes es la matriz transpuesta de la matriz de coeficientes del sistema anterior.

A continuación se obtienen las componentes principales tipificadas, Z_1, Z_2, \dots, Z_p , definidas por:

$$Z_j = \frac{Y_j}{\sqrt{\lambda_j}}, \quad j = 1, \dots, p,$$

donde, λ_j es el autovalor¹³ asociado a la componente j -ésima.

Sustituyendo Y_j por $Z_j\sqrt{\lambda_j}$ en el último sistema, la ecuación i -ésima del sistema resulta de la siguiente forma:

$$X_i = a_{1i}Z_1\sqrt{\lambda_1} + a_{2i}Z_2\sqrt{\lambda_2} + \dots + a_{pi}Z_p\sqrt{\lambda_p} = \sum_{j=1}^p a_{ji}\sqrt{\lambda_j}Z_j,$$

donde $a_{ji}\sqrt{\lambda_j}$ es el coeficiente de correlación entre la variable X_i y la componente Z_j .

Por tanto,

$$X_i = \sum_{j=1}^p r_{ji}Z_j \quad i = 1, \dots, p.$$

Agregando los últimos $p - k$ términos, la ecuación anterior puede escribirse como:

$$X_i = \sum_{j=1}^k r_{ji}Z_j + \sum_{j=k+1}^p r_{ji}Z_j \quad i = 1, \dots, p.$$

¹³ Los autovalores indican la cantidad de la varianza total que está explicada por cada factor. El porcentaje de varianza explicada asociado a cada factor se obtiene dividiendo su correspondiente autovalor por el número de variables que componen dicho factor.

Como, de la expresión del modelo factorial, se tiene que, para cada variable observada,

$$X_i = \sum_{j=1}^k l_{ij} F_j + u_i \quad i = 1, \dots, p,$$

de la comparación de las dos últimas expresiones se obtiene que la estimación de las cargas factoriales será:

$$\hat{l}_{ij} = r_{ji}.$$

A partir de la estimación anterior, resultan las comunalidades estimadas de cada variable X_i ($i = 1, \dots, p$) como:

$$\hat{h}_i^2 = \sum_{j=1}^k \hat{l}_{ij}^2 = \sum_{j=1}^k r_{ji}^2.$$

Por último, el factor único de cada variable X_i ($i = 1, \dots, p$) se estima como:

$$\hat{e}_i = \sum_{j=k+1}^p r_{ji} Z_j,$$

siendo la estimación de la especificidad la siguiente:

$$\hat{w}_i^2 = 1 - \hat{h}_i^2.$$

7.2 RESULTADOS

La aplicación de la técnica de análisis factorial requiere valorar, en primer lugar, la adecuación de los datos a la utilización de dicha herramienta estadística. La decisión se basa en el valor del estadístico de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y en la prueba de esfericidad de Barlett¹⁴, cuyos resultados se muestran en la Tabla 1:

¹⁴ Ver Anexo 2.

Tabla 1. Medida de adecuación muestral KMO
y prueba de esfericidad de Barlett para cada dimensión

Dimensión	KMO	Chi-cuadrado	G. libertad	Significación
Entrada	0,775	146,474	28	0,000
Proceso	0,646	54,027	15	0,000
Salida	0,511	51,856	10	0,000

Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse en la tabla anterior, resulta adecuado utilizar el análisis factorial para trabajar con todas las dimensiones del sistema, dado que el estadístico KMO es superior a 0,5¹⁵ en todos los casos. Además, esta adecuación se corrobora con los resultados significativos de la prueba de esfericidad de Barlett.

Una vez comprobada la adecuación muestral de los datos se procede a la extracción de los factores, a partir de las variables originales –previamente tipificadas–, que integran cada una de las dimensiones¹⁶.

El gráfico de sedimentación permite determinar cuántos factores son necesarios para explicar el máximo de la variabilidad de los datos. Como ilustra la Figura 10, en todos los casos, el gráfico tiene solamente dos valores propios o autovalores mayores que uno, por lo que dos serán los factores que representen cada una de las dimensiones.

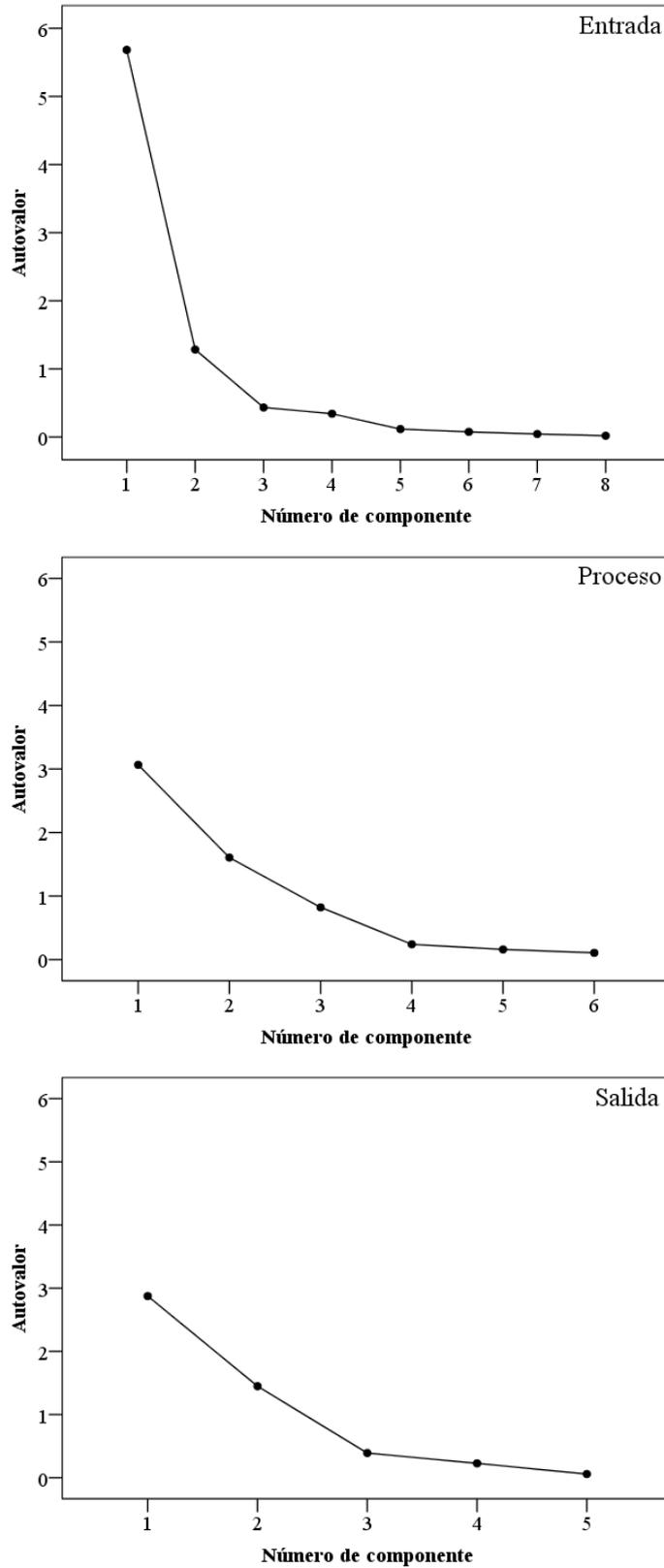
La Tabla 2 recoge la varianza total explicada por los factores en cada dimensión. La variabilidad explicada por los análisis realizados es elevada¹⁷: en torno al 87% en el caso de la dimensión de Entrada –71% el Factor 1 y 16% el Factor 2–; un poco inferior, cercana al 78% en la dimensión de Proceso –51 y 27 por ciento el Factor 1 y el Factor 2, respectivamente–; y, por último, para la dimensión de Salida, se explica más del 86% de la varianza de los datos –57% y 29% los Factores 1 y 2, respectivamente–.

¹⁵ En general, cuanto más se acerque a uno mejor será la adecuación.

¹⁶ En este caso, se ha optado por el método basado en las componentes principales. Por este motivo, de ahora en adelante, se utiliza la palabra componente y factor de manera indistinta. Además, y con el objetivo de poder realizar una adecuada interpretación de los resultados, se aplica una rotación *Varimax* de los factores (ver Anexo 3).

¹⁷ Según Hair *et al.* (1995), se considera adecuada la selección de un número de factores que consiga explicar al menos el 60 por ciento de la variabilidad de los datos.

Figura 10. Gráficos de sedimentación para cada dimensión



Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Varianza total explicada por dimensión

Dimensión	Total	% de la varianza	% acumulado
Entrada			
Factor 1	5,683	71,038	71,038
Factor 2	1,285	16,058	87,096
Proceso			
Factor 1	3,066	51,098	51,098
Factor 2	1,606	26,762	77,860
Salida			
Factor 1	2,875	57,507	57,507
Factor 2	1,449	28,976	86,483

Fuente: elaboración propia.

La matriz de componentes rotados permite identificar las variables que integran los dos factores en cada dimensión. Para una mejor comprensión de los resultados, y de la caracterización de cada uno de los factores obtenidos, se presentan por separado los resultados de cada una de las tres dimensiones consideradas.

La dimensión de Entrada está representada por dos factores, integrados por cinco y tres variables¹⁸, respectivamente, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Ponderaciones factoriales en la dimensión de Entrada

Variable	Factor 1	Factor 2
E7	0,913	0,297
E6	0,912	0,102
E8	0,906	0,319
E5	0,822	0,476
E4	0,779	0,365
E2	-0,156	-0,948
E1	0,311	0,934
E3	-0,469	-0,726

Fuente: elaboración propia.

¹⁸ Para un mayor detalle de estas variables, véase el Anexo 4.

El primer factor está compuesto por cinco variables: empresas que cooperan en actividades de innovación tecnológica con universidades u otros centros de enseñanza superior (E7); con consultores o laboratorios comerciales (E6); con centros de investigación públicos o privados (E8); con empresas de su misma rama de actividad (E5) y con empresas de su mismo grupo (E4). Estas variables componen el factor de *grado de apertura* de la empresa y permiten detectar qué empresas se relacionan con el entorno. Así, se considera que las relaciones externas pueden potenciar la innovación, es decir, cabe esperar que las empresas “autárquicas” sean menos innovadoras en comparación con aquellas que interactúan con otros agentes externos.

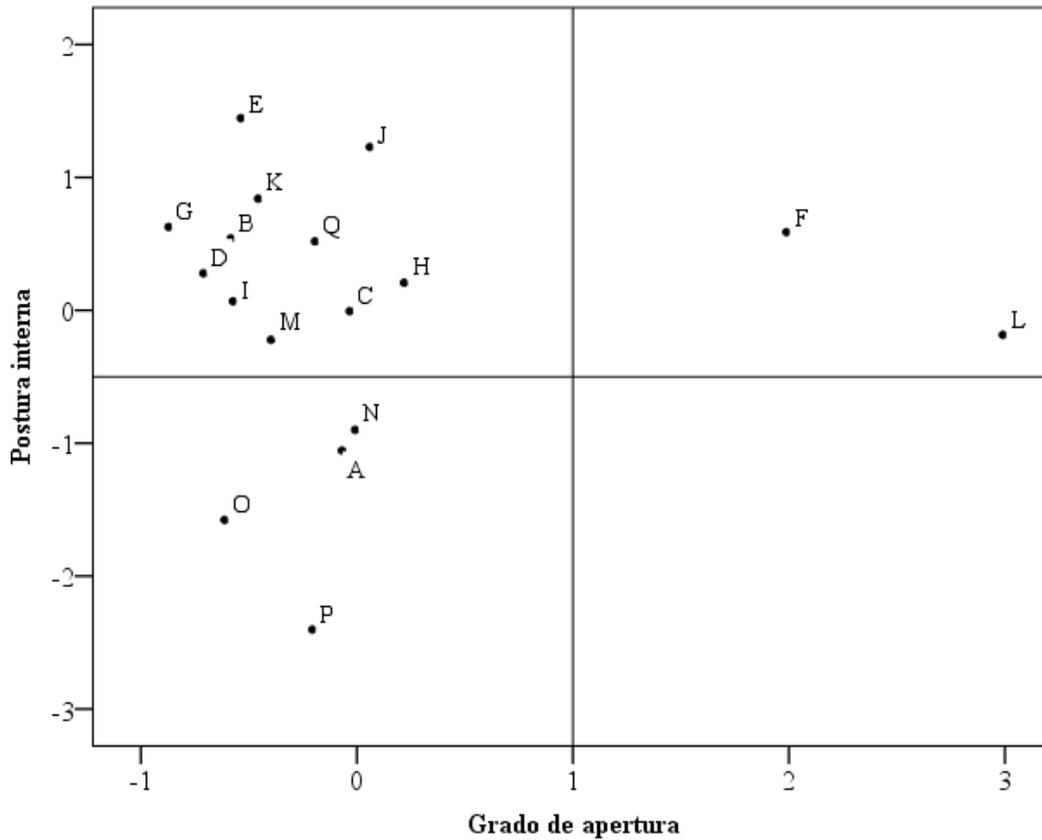
El segundo factor está constituido por tres variables: empresas que han adquirido maquinaria, equipos, hardware o software avanzados y edificios (E2); empresas que han desarrollado I+D interna (E1) y empresas que forman a sus trabajadores en actividades de innovación (E3). Estas variables constituyen el factor de *postura interna* de la empresa. Dado que la innovación es la palanca de crecimiento de las compañías, las empresas que más gastan en I+D tienden a ser más competitivas, aunque no necesariamente una mayor inversión implica ser una compañía más innovadora. Pese a no existir una correlación directa, el número de empresas que invierten en investigación científica y desarrollo tecnológico aumenta cada año.

En la Figura 11 se representan las actividades económicas analizadas, en relación a la posición espacial que ocupan con respecto a los factores de grado de apertura y postura interna de la empresa previamente identificados.

La distribución espacial de las actividades económicas, atendiendo a los factores correspondientes a la dimensión de Entrada, permite la organización de las mismas en varios grupos. Así, por un lado, se observa que las actividades de agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (A), construcción (N), comercio (O) y transportes y almacenamiento (P) no han potenciado ni la innovación interna ni la externa. En el lado opuesto se encuentran las actividades relacionadas con la fabricación de productos farmacéuticos (F) y con el suministro de energía y agua (L). El resto de actividades económicas, –industrias extractivas y del petróleo (B), alimentación, bebidas y tabaco (C), textil, confección, cuero y calzado (D), química (E), productos minerales no metálicos (G), metalurgia (H), manufacturas metálicas (I), productos informáticos, electrónicos y

ópticos (J), vehículos de motor (K), saneamiento, gestión de residuos y descontaminación (M) e información y comunicaciones (Q)–, se caracterizan por tener una postura interna favorable a la innovación pero una escasa relación con el exterior.

Figura 11. Distribución de las actividades económicas según la dimensión de Entrada



Fuente: elaboración propia.

Continuando con la investigación de los resultados derivados del análisis factorial, la dimensión de *Proceso* está representada por dos factores, integrados cada uno de ellos por tres de las variables originales¹⁹, según se recoge en la Tabla 4.

¹⁹ Un análisis exhaustivo de estas variables puede encontrarse en el Anexo 5.

Tabla 4. Ponderaciones factoriales en la dimensión de Proceso

Variable	Factor 1	Factor 2
P5	0,919	0,088
P4	0,896	0,034
P6	0,856	0,266
P1	-0,090	-0,916
P3	0,316	0,898
P2	0,013	0,678

Fuente: elaboración propia.

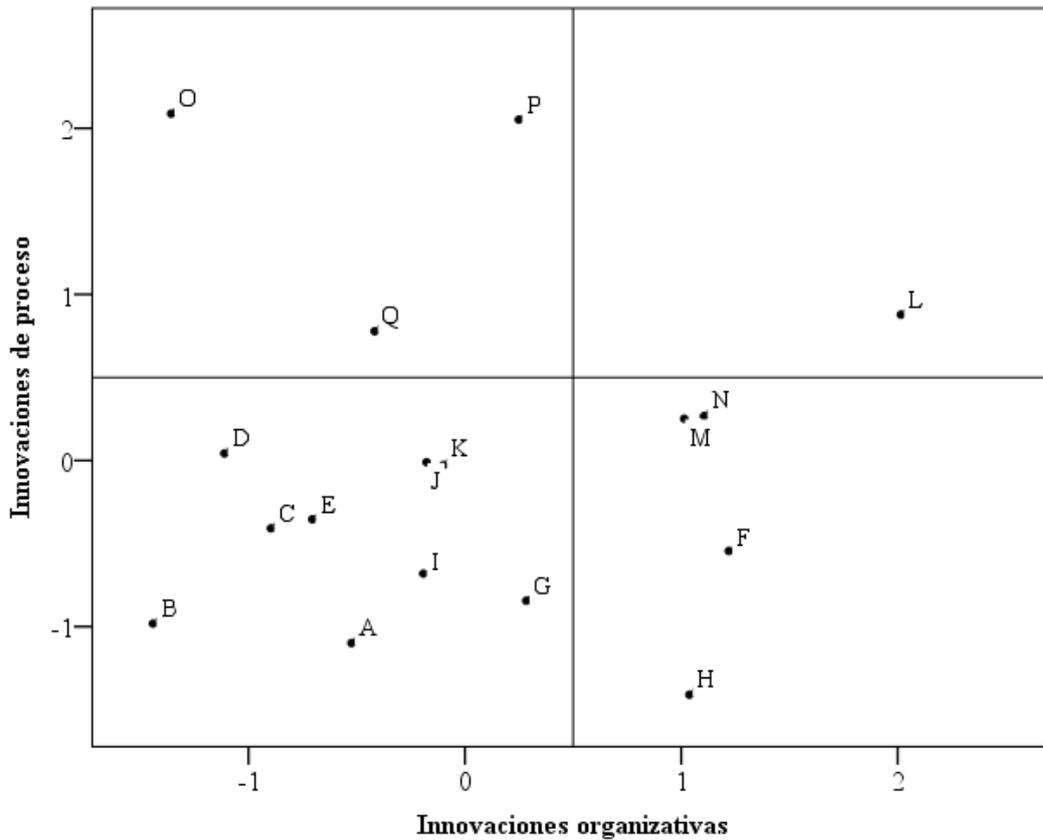
El primer factor recoge la información de tres variables: empresas que han introducido nuevos métodos de organización de los lugares de trabajo (P5); nuevas prácticas empresariales en la organización del trabajo (P4) y nuevos métodos de gestión de las relaciones externas (P6). Las tres variables constituyen el factor de *innovaciones organizativas* que refleja si la empresa ha introducido innovaciones que tengan una influencia positiva en el funcionamiento interno de la misma y en las relaciones con el exterior.

El segundo factor de esta dimensión está compuesto igualmente por tres variables: empresas que han introducido nuevos métodos de fabricación (P1), nuevos sistemas logísticos o métodos de distribución (P2) y nuevas actividades de apoyo para los procesos (P3). Sin duda, estas variables conforman el factor de *innovaciones de proceso*, dirigidas principalmente a reducir los costes de fabricación. Así, este factor permitirá realizar una aproximación a la flexibilidad de la empresa a la hora de incrementar la productividad, diversificar la oferta o reducir los tiempos de respuesta al cliente, entre otros.

Cabe destacar que tanto las innovaciones organizativas como las innovaciones de proceso repercuten sobre la calidad del producto final, por lo que este subíndice permite adicionalmente evaluar el esfuerzo que una empresa realiza para mejorar sus productos.

En la Figura 12 se han representado las actividades económicas analizadas, atendiendo a su distribución espacial en relación a los factores de innovaciones organizativas e innovaciones de proceso, anteriormente identificados.

Figura 12. Distribución de las actividades económicas según la dimensión de Proceso



Fuente: elaboración propia.

La distribución espacial de las actividades económicas, atendiendo a los factores anteriores, permite establecer los siguientes grupos. Por un lado, se observan una serie de actividades –agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (A), industrias extractivas y del petróleo (B), alimentación, bebidas y tabaco (C), textil, confección, cuero y calzado (D), química (E), productos minerales no metálicos (G), manufacturas metálicas (I), productos informáticos, electrónicos y ópticos (J), vehículos de motor (K)–, que han introducido pocas innovaciones tanto en la organización como en el proceso de producción. Por el contrario, las actividades relacionadas con el suministro de energía y agua (L) son punteras a la hora de incorporar innovaciones organizativas y de proceso. Por su parte, las actividades vinculadas a la industria farmacéutica (F), la industria metalúrgica (H), el saneamiento, la gestión de residuos y la descontaminación (M) y la construcción (N) muestran una alta capacidad para desarrollar innovaciones

organizativas; mientras que las actividades relativas al comercio (O), los transportes y almacenamiento (P) y la información y comunicaciones (Q) destacan por su capacidad de innovación en el proceso productivo.

La tercera dimensión, *Salida*, está representada por dos factores, formados por tres y dos variables²⁰, respectivamente, como muestra la Tabla 5.

Tabla 5. Ponderaciones factoriales en la dimensión de Salida

Variable	Factor 1	Factor 2
S5	0,972	0,084
S4	0,917	-0,003
S3	0,692	0,533
S1	-0,144	0,929
S2	0,401	0,851

Fuente: elaboración propia.

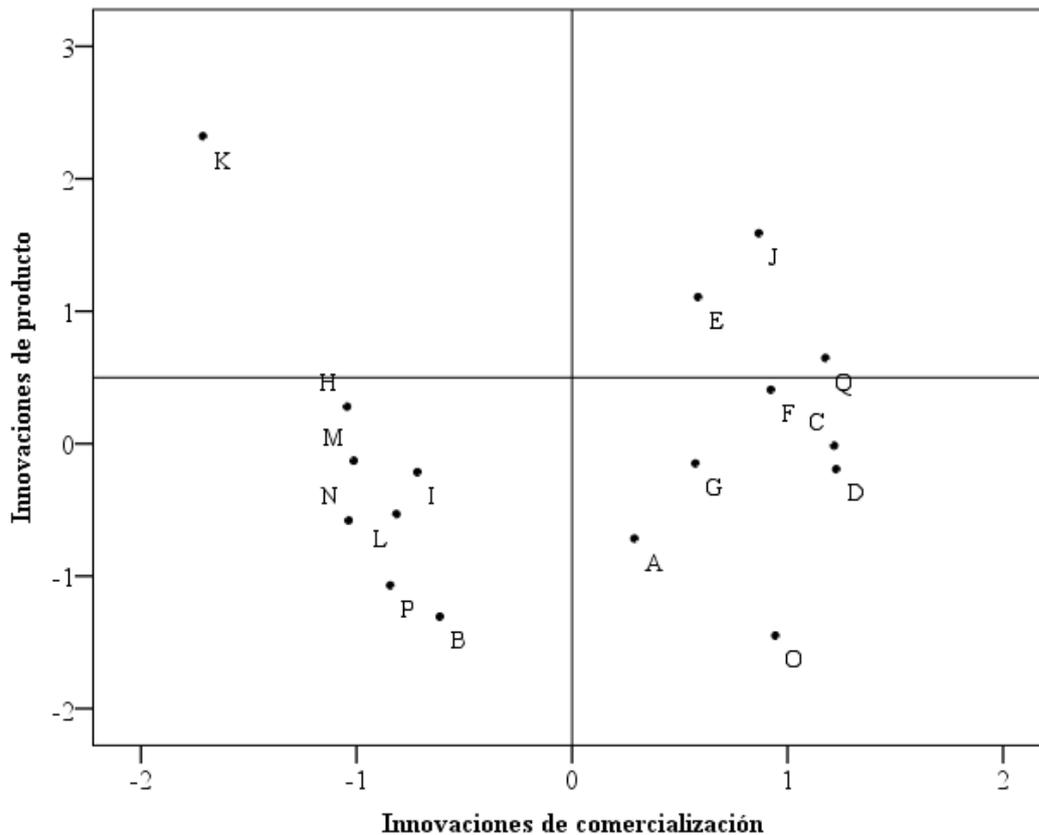
Tres variables componen el primer factor, el factor de *innovaciones de comercialización*: empresas que han introducido nuevos métodos para el posicionamiento del producto en el mercado (S5), modificaciones en el diseño o en el envasado del producto (S3) y nuevas técnicas o canales para la promoción del producto (S4). Con este factor es posible identificar aquellas empresas que gracias a la inversión en este tipo de innovación transmiten una muy buena imagen de la marca de la empresa.

El segundo factor resultante del análisis estadístico de esta dimensión, el factor de *innovaciones de producto*, está integrado por dos variables: la cifra de negocios dedicada a la productos nuevos y mejorados (S1) y la cantidad de productos nuevos o mejorados que la empresa ha introducido en el mercado (S2). Dado que vivimos en un mundo globalizado, donde la competencia cada vez es mayor, la innovación de producto es necesaria para ser competente. Estos indicadores revelan si la empresa ostenta o no una posición fuerte en el mercado. En este sentido, a través de la *innovación dirigida* las empresas involucran a sus clientes más habituales en la mejora de los productos ya existentes, así como en el diseño de nuevos.

²⁰ Véase el Anexo 6 para una mayor explicación de estas variables.

En la Figura 13 se han representado las actividades económicas analizadas, en relación a la posición espacial que ocupan con respecto a los dos factores obtenidos, según la dimensión de Salida.

Figura 13. Distribución de las actividades económicas según la dimensión de Salida



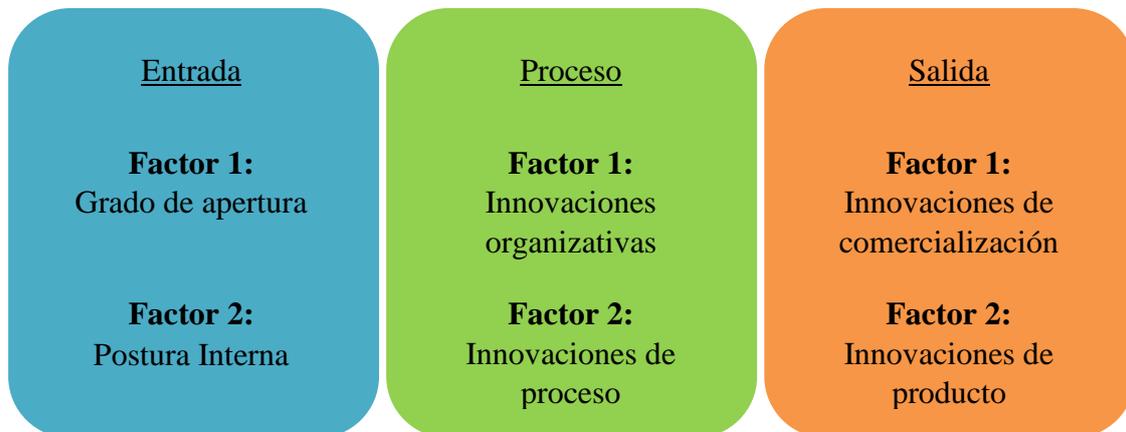
Fuente: elaboración propia.

A partir de lo ilustrado en la siguiente figura, se puede realizar la siguiente agrupación de las actividades económicas. En primer lugar, cabe destacar la escasa presencia de innovaciones de comercialización y de producto en las industrias extractivas y del petróleo (B), metalúrgicas (H) manufactureras metálicas (I) y en las actividades relacionadas con el suministro de energía y agua (L), el saneamiento, la gestión de residuos y la descontaminación (M), la construcción (N) y los transportes y almacenamiento (P). Con el mismo grado de mejora en los productos, pero con una mayor implementación de innovaciones de comercialización se encuentran las

actividades vinculadas a la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (A), la alimentación, bebidas y tabaco (C), la industria textil, confección, cuero y calzado (D), la industria farmacéutica (F), los productos minerales no metálicos (G) y el comercio (O). Asimismo, cabe destacar la gran cantidad de innovaciones de producto incorporadas a los vehículos de motor (K). Por último, el mayor número de innovaciones de estos tipos tienen lugar en las empresas enmarcadas dentro de la industria química (E), los productos informáticos, electrónicos y ópticos (J) y la información y comunicaciones (Q).

Una vez realizado el análisis factorial, se construyen los factores, considerando las variables originales que se incluyen en cada uno de ellos²¹ y sus puntuaciones factoriales²². Los factores obtenidos para cada una de las dimensiones del Índice de Innovación Tecnológica se resumen en la Figura 14.

Figura 14. Factores considerados en cada dimensión



Fuente: elaboración propia.

Esta etapa del proceso de instrumentación se concluye con la elaboración de los índices sintéticos intermedios que representan cada dimensión –IE, IP, IS–, a partir de los

²¹ Para más detalle véanse los Anexos 7, 8 y 9.

²² En el Anexo 10 se recogen las puntuaciones factoriales.

factores recogidos en la Figura 14, previamente normalizados²³. Para ello, y según se ha comentado con anterioridad, se sigue la metodología propuesta por Peters y Butler (1970), que pondera cada uno de los factores en función de la varianza relativa explicada.

Los valores de los índices intermedios para cada una de las actividades económicas analizadas se presentan en la Tabla 6. Cabe destacar que los resultados obtenidos permiten realizar comparaciones entre los valores de las distintas actividades en términos de la posición relativa que ocupan en relación a las demás.

Tabla 6. Índices intermedios para cada dimensión (valor y rango)

Actividad económica	IE		IP		IS	
	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Rango
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	0,46	4	0,25	14	0,52	9
Industrias extractivas y del petróleo	0,26	14	0,08	17	0,26	14
Alimentación, bebidas y tabaco	0,36	7	0,23	15	0,81	2
Textil, confección, cuero y calzado	0,22	15	0,22	16	0,78	6
Química	0,18	17	0,27	13	0,79	4
Farmacia	0,70	2	0,61	5	0,79	5
Productos minerales no metálicos	0,21	16	0,41	8	0,64	7
Metalurgia	0,42	5	0,50	6	0,31	12
Manufacturas metálicas	0,26	13	0,35	11	0,34	10
Productos informáticos, electrónicos y ópticos	0,29	10	0,39	9	0,86	1
Vehículos de motor	0,27	11	0,38	10	0,34	11
Energía y agua	0,95	1	0,90	1	0,28	13
Saneamiento, gestión de residuos y descontaminación	0,32	9	0,65	3	0,26	15
Construcción	0,41	6	0,68	2	0,23	16
Comercio	0,35	8	0,34	12	0,55	8
Transportes y almacenamiento	0,47	3	0,62	4	0,22	17
Información y comunicaciones	0,27	12	0,43	7	0,81	3

Fuente: elaboración propia.

²³ Los factores representativos de cada dimensión han sido previamente normalizados en una escala de 0 a 1, utilizando los valores extremos (máximos y mínimos) según la siguiente expresión:

$$\text{Factor} = \frac{\text{Valor} - \text{Valor mínimo}}{\text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo}}$$

Los valores máximos y mínimos empleados pertenecen a la propia serie analizada, lo cual conduce a valores iguales a cero. Para evitar los anteriores valores nulos, se ha aplicado una transformación a todos los datos.

Si se consideran los tres índices intermedios obtenidos, el patrón que se observa en la ordenación de las actividades económicas es el siguiente. Por un lado, la industria farmacéutica se encuentra clasificada en los primeros lugares en todos los casos, mientras que las industrias extractivas y del petróleo ocupan siempre los peores lugares en el ranking obtenido para los índices IE, IP e IS. Por su parte, las actividades vinculadas a los vehículos de motor y el comercio se sitúan en una posición intermedia en todas las dimensiones analizadas.

Otras actividades merecen una consideración particular. Cabe destacar el caso de las actividades relacionadas con el suministro de energía y agua y con los transportes y el almacenamiento, con los mejores resultados en las dimensiones de Entrada y Proceso, en contraste con la dimensión de Salida, en la que se encuentran situadas en las últimas posiciones. El contrario patrón de comportamiento se observa en el caso de la industria química.

La industria metalúrgica, por su parte, obtiene un buen puesto en términos de Entrada, pero ocupa un lugar intermedio si se consideran las dimensiones de Proceso y Salida. Las actividades relacionadas con los productos minerales no metálicos y las manufacturas metálicas ocupan peores lugares en la dimensión Entrada en comparación con el resto de dimensiones.

La agricultura, ganadería, silvicultura y pesca ocupan una posición alta, baja e intermedia en relación a las dimensiones de Entrada, proceso y salida, respectivamente. Las actividades vinculadas a la construcción y el saneamiento, gestión de residuos y descontaminación se encuentran muy bien situadas según la dimensión de Proceso, pero ocupan una posición intermedia (baja) en relación a la dimensión de Entrada (Salida). Por último, las actividades asociadas a la alimentación, bebidas y tabaco tienen una buena posición en la dimensión Salida, en contraste con los índices IE e IP donde se encuentran situadas en una posición intermedia y baja, respectivamente.

Tras el cálculo de los índices intermedios de cada dimensión, el proceso de instrumentación concluye con la obtención del Índice de Innovación Tecnológica (IIT). Para ello, se asigna a cada índice intermedio –IE, IP, IS–, un peso equivalente a la varianza acumulada por la dimensión a la que representa (ver Tabla 7).

Tabla 7. Índice de Innovación Tecnológica y sus dimensiones

Actividad económica	IE	IP	IS	IIT
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	0,46	0,25	0,52	0,41
Industrias extractivas y del petróleo	0,26	0,08	0,26	0,20
Alimentación, bebidas y tabaco	0,36	0,23	0,81	0,48
Textil, confección, cuero y calzado	0,22	0,22	0,78	0,41
Química	0,18	0,27	0,79	0,42
Farmacia	0,70	0,61	0,79	0,70
Productos minerales no metálicos	0,21	0,41	0,64	0,42
Metalurgia	0,42	0,50	0,31	0,40
Manufacturas metálicas	0,26	0,35	0,34	0,32
Productos informáticos, electrónicos y ópticos	0,29	0,39	0,86	0,52
Vehículos de motor	0,27	0,38	0,34	0,33
Energía y agua	0,95	0,90	0,28	0,71
Saneario, gestión de residuos y descontaminación	0,32	0,65	0,26	0,40
Construcción	0,41	0,68	0,23	0,43
Comercio	0,35	0,34	0,55	0,42
Transportes y almacenamiento	0,47	0,62	0,22	0,43
Información y comunicaciones	0,27	0,43	0,81	0,50

Fuente: elaboración propia.

Los resultados del Índice de Innovación Tecnológica ponen de manifiesto un hecho que es coherente con los comentarios realizados con anterioridad: las actividades económicas relacionadas con el suministro de energía y agua y con la fabricación de productos farmacéuticos son las más innovadoras tecnológicamente. Por el contrario, las industrias extractivas y del petróleo, las manufacturas metálicas y los vehículos de motor son las actividades que tienen asociados los niveles más bajos de innovación. Por último, al resto de actividades se les puede atribuir un grado de innovación intermedia.

8. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

La era de la tecnología en la que nos encontramos inmersos hoy en día está afectando, entre otros ámbitos, al mundo empresarial. Las nuevas y mejores formas de comunicación, los materiales actuales y los importantes desarrollos en el campo de la informática, entre otros, están propiciando un nuevo proceso de transformación de las empresas que comenzará a hacerse patente en los próximos años y/o décadas y que desembocará en una nueva realidad empresarial.

Hoy en día, la empresa en red es el modelo empresarial que impera en el mundo desarrollado. Este prototipo de empresa suele estar formada por una gran compañía matriz que realiza las funciones de diseño, calidad, plazos y costes, y un conjunto de sedes que actúan como proveedores, distribuidores y/o productores de la primera. La plantilla de estas empresas está distribuida en tres escalafones: en un primer bloque se encuentran la presidencia y el consejo directivo que son los encargados de tomar las decisiones más importantes de la empresa; posteriormente, se hallan los mandos intermedios que, además de tomar las decisiones del día a día, se ocupan de llevar a cabo los proyectos de la compañía y, por último, el personal encargado de la ingeniería, el diseño y la gestión, la administración y los empleados rasos.

En este trabajo se estudia el posible impacto que la adopción de las nuevas tecnologías tendrá sobre la estructura organizativa y la distribución de las plantillas de las empresas. Para ello, se consideran una serie de tecnologías clave en el actual proceso de transformación: la Inteligencia Artificial, la Robótica Industrial, la Interfaz Natural de Usuario y el Internet Global.

La incorporación de Inteligencia Artificial en el mundo de los negocios permitirá una rápida reducción de costes, mejorando los resultados empresariales y, por tanto, los beneficios de los accionistas, objetivos principales de toda empresa. Su introducción en la gestión diaria de la empresa permitirá tramitar la información, realizar el diseño y dirigir la gestión desde unidades digitales, provocando el cierre de todos los centros de distribución y de venta, dado que cada una de sus funciones podrán ser llevadas a cabo desde la sede central. Asimismo, se reducirá la plantilla en las áreas de ingeniería, estrategia, planificación..., transformando las empresas en sus niveles intermedios.

La implantación de la robótica industrial permitirá reducir los costes de plantilla, siendo principalmente los nuevos costes aquellos relacionados con la energía y el agua –según el proceso–, la inversión en nueva maquinaria, el mantenimiento, los impuestos y los costes de transporte. La inclusión de la robótica en los procesos de producción, sumado a la Inteligencia Artificial, afectará tanto a los puestos de los trabajadores menos formados como a los empleados de nivel superior, encargados hoy en día de gestionar grupos de personas, evaluar el trabajo y realizar mejoras del proceso, entre otras tareas.

La presencia de las interfaces naturales de usuario en las empresas permitirá a los empleados comunicarse con sus equipos desde cualquier lugar, mejorando la movilidad de los mismos dentro y fuera de la empresa. Asimismo, el trabajo de los mismos será mucho más dinámico y resolutivo, incrementando la productividad de todos y cada uno de los trabajadores.

Internet es la base fundamental sobre la que se asienta la sociedad del conocimiento. La arquitectura de Internet se está convirtiendo, cada vez más, en un sistema sofisticado y complejo, siendo la posibilidad de conectarse en cualquier lugar del planeta y en cualquier momento el actual reto de los distintos agentes encargados del desarrollo de Internet. El futuro Internet será la verdadera red de la empresa de forma que la posibilidad de carecer de oficinas y entornos de trabajo, como se entienden hoy en día, permitirá tanto a los trabajadores como a sus jefes organizarse de la forma que otorgue el mayor rendimiento.

Dado que la innovación tecnológica es la principal fuerza motriz del crecimiento económico en los países desarrollados, también se elabora un índice de innovación tecnológica que permita analizar en qué medida las empresas españolas se están adaptando al entorno cambiante que las rodea. Para ello, se lleva a cabo un análisis factorial, herramienta fundamental para la construcción de índices sintéticos.

El índice que se propone está compuesto por tres subíndices de innovación que reflejan las siguientes dimensiones: innovaciones al inicio (Entrada), durante (Proceso) o al final (Salida) de la fase de producción. El subíndice Entrada refleja si la empresa está receptiva a la innovación; el subíndice Proceso recoge las innovaciones que se han incorporado a la empresa para mejorar su funcionamiento interno, incluyendo mejoras técnicas y organizativas y, por último, el subíndice Salida muestra las innovaciones que tienen lugar en el mercado.

Los resultados derivados de la aplicación de la técnica de análisis factorial muestran que la varianza total explicada por cada dimensión es elevada: en torno al 87% en el caso de la dimensión de Entrada, cercana al 78% en la dimensión de Proceso y superior al 86% para la dimensión de Salida.

La dimensión de Entrada está representada por dos factores que indican el grado de apertura y la postura interna de la empresa, respectivamente. Por su parte, los factores

recogidos en la dimensión de Proceso consideran las innovaciones organizativas y las innovaciones de proceso; mientras que, la dimensión de Salida está compuesta por dos factores que tienen en cuenta tanto las innovaciones de comercialización como las innovaciones de producto.

Los valores de los índices intermedios para cada una de las actividades económicas analizadas revelan que la industria farmacéutica se encuentra clasificada en los primeros lugares en todos los casos, que las actividades vinculadas a los vehículos de motor y el comercio se sitúan en una posición intermedia en todas las dimensiones analizadas y que las industrias extractivas y del petróleo ocupan siempre los peores lugares en los índices IE, IP e IS.

Los resultados del Índice de Innovación Tecnológica ponen de manifiesto que las actividades económicas relacionadas con el suministro de energía y agua y con la fabricación de productos farmacéuticos son las más innovadoras tecnológicamente mientras que, las industrias extractivas y del petróleo, las manufacturas metálicas y los vehículos de motor son las actividades que tienen asociados los niveles más bajos de innovación. Por último, al resto de actividades se les puede atribuir un grado de innovación intermedia.

Como líneas futuras de investigación se plantean las siguientes. Por un lado, el estudio del impacto que la incorporación de otras tecnologías, no consideradas en este trabajo, puedan llegar a tener sobre la estructura organizativa y la distribución de las plantillas de las empresas. Por otro lado, la consideración de un mayor número de actividades económicas en la elaboración del Índice de Innovación Tecnológica que permita dar una idea más precisa de las diferencias en el nivel de innovación que existen entre las empresas con distintas actividades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, R., Neely, A., Yagui, B., Bessant, J. (2008): Proposal for Measures of Firm-Level Innovation Performance in 12 Sectors of UK Industry. NESTA Working Paper: Septiembre de 2008.
- Ashby, K., Mahdon, M. (2009): Measuring the nature of demand for innovation in the UK: The challenges of an indicator approach. NESTA Working Paper: Junio de 2009.
- Brogårdh, T. (2007): Present and future robot control development—An industrial perspective. *Annual Reviews in Control*, 31, pp. 69-79.
- Camarillo, D. B., Krummel, T. M., Salisbury, J. K. (2004): Robotic technology in surgery: Past, present, and future. *The American Journal of Surgery*, 188, pp. 2-15.
- Carayannis, E. G., Provance, M. (2008): Measuring firm innovativeness: towards a composite innovation index built on firm innovative posture, propensity and performance attributes. *International Journal of Innovation and Regional Development*, 1, pp. 90-107.
- Clark, D. D., Partridge, C., Braden, R. T., Davie, B., Floyd, S., Van Jacobson, D. K., Minshall, G., Ramakrishnan, K. K., Roscoe, T., Stoica, I., Wroclawski, J., Zhang, L. (2005): Making the World (of Communications) a Different Place, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 35, pp. 91-96.
- Corbella, T. (2010): Un índice de innovación para empresas españolas: una propuesta metodológica. Centre de Recerca en Economia Industrial i Economia Pública (CREIP). Working Papers INNOVACIÓ 2010-1.
- Escobar, L. (2006): Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas. *Revista Eure*, 32, pp. 73-98.
- (2008): Indicadores ambientales sintéticos: una aproximación conceptual desde la estadística multivariante. *Gestión y Ambiente*, 11, pp. 121-140.

- García, J. L., Casado, H., Fatjó, P., Núñez, G. (1998): *Historia de la empresa mundial y de España*. Editorial Síntesis: Madrid, España.
- Ge, S. S. (2007): Robotics: The Past, the Present and the Future, Invited Talk: *Imperial College Centenary Alumni Seminar: Developments in management, technology and healthcare*. Organised by Imperial College Alumni Association of Singapore, National Library Building, Singapore, November 2007.
- Gómez-Limón, J. A., Riesgo, L. (2009): Alternative approaches to the construction of a composite indicator of agricultural sustainability: An application to irrigated agriculture in the Duero basin in Spain. *Journal of Environmental Management*, 90, pp. 3345-3362.
- Graefe, V., Bischoff, R. (2003): Past, Present and Future of Intelligent Robots. En *Proceedings of 2003 International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation* (pp. 801-810). Kobe, Japón, Julio de 2003.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L. Black, W. C. (1995): *Multivariate Data Analysis with Readings*. Prentice Hall: Nueva Jersey, USA.
- INE (2016): *Encuesta sobre Innovación en las empresas 2014*. Instituto Nacional de Estadística, Madrid, España.
- Jain, J., Lund, A., Wixon, D. (2011): The Future of Natural User Interfaces. En *Proceedings of ACM CHI 2011 Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 211-214). Vancouver, Canada, Mayo de 2011.
- Jarvis, R. (2008): Intelligent Robotics: Past, Present and Future. *International Journal of Computer Science and Applications*, 5, pp. 23-35.
- Kennewick, M. R., Cheung, C., Baldwin, L., Salomon, A., Tjalve, M., Guttigoli, S., Armstrong, L., Dichristo, P., Zimmerman, B., Menaker, S. (2012): *U.S. Patent No. 8140335*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

- Lauras, M., Comes, T. (2015): Special Issue on Innovative Artificial Intelligence Solutions for Crisis Management. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 46, pp. 287-288.
- Lazarsfeld, P. (1973): De los conceptos a los índices empíricos. En Boudon, R., Lazarsfeld, P. (eds.): *Metodología de las ciencias sociales. Conceptos e Índices*. Laia: Barcelona, España.
- Marchetta, M. G., Forradellas, R. Q. (2010): An artificial intelligence planning approach to manufacturing feature recognition. *Computer-Aided Design*, 42, 248-256.
- Mardia, K. V., Kent, J. T., Bibby, J. M. (1979): *Multivariate Analysis*. Academic Press: Londres, UK.
- Martín, V. (2012): *Historia de la empresa*. Ediciones Pirámide: Madrid, España.
- Martin, D., Völker, L., Zitterbart, M. (2011): A flexible framework for Future Internet design, assessment, and operation. *Computer Networks*, 55, pp. 910-918.
- Norman, D. A. (2010): Natural User Interfaces Are Not Natural. *Interactions*, 17, pp. 6-10.
- O'Leary, D. E. (2013): Artificial Intelligence and Big Data. *IEEE Intelligent Systems*, 2, pp. 96-99.
- Pavitt, K. (1984): Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory. *Research policy*, 13, pp. 343-373.
- Pena, J. B. (1977): *Problemas de la medición del bienestar y conceptos afines. Una aplicación al caso español*, Instituto Nacional de Estadística, Madrid, España.
- Peña, D. (2002): *Análisis de datos multivariantes*. McGraw Hill: Madrid, España.
- Peters, W. S., Butler, J. Q. (1970): The construction of regional economic indicators by principal components. *The Annals of Regional Science*, 4, pp. 1-14.

- Rao, R. (2010): Artificial Intelligence: Past, Present, and Future, Invited Talk: *Computer Science and Engineering: Applications of Artificial Intelligence (CSEP 573)*. Organised by Department of Computer Science and Engineering, University of Washington, USA, Winter 2010.
- Sanchez-Loro, X., Ferrer, J. L., Gomez, C., Casademont, J., Paradells, J. (2011): Can Future Internet be based on constrained networks design principles? *Computer Networks*, 55, pp. 893-909.
- Schuschny, A., Soto, H. (2009): *Guía metodológica. Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile, Chile.
- Valderrey, P. (2010): *SPSS 17: Extracción del conocimiento a partir del análisis de datos*. Ra-Ma: Madrid, España.
- Womack, J. P., Jones, D. T., Roos, D. (1990): *The Machine that Changed the World: Based on the MIT 5-million-dollar 5-year Study on the Future of the Automobile*. Rawson Associates: New York, USA.
- Wu, J. Y. (2010): Computational Intelligence-based Intelligent Business Intelligence System: Concept and Framework. En Second International Conference on Computer and Network Technology (ICCNT) (pp. 334-338). Bangkok, Tailandia, Abril de 2010.
- Zarzosa, P. (1996): *Aproximación a la medición del bienestar social*. Secretariado de Universidades e Intercambio Científico, Valladolid, España.

Anexo 1

Actividades económicas consideradas en el análisis

Código	Actividad económica	Código CNAE*
A	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	01, 02, 03
B	Industrias extractivas y del petróleo	05, 06, 07, 08, 09, 19
C	Alimentación, bebidas y tabaco	10, 11, 12
D	Textil, confección, cuero y calzado	13, 14, 15
E	Química	20
F	Farmacia	21
G	Productos minerales no metálicos	23
H	Metalurgia	24
I	Manufacturas metálicas	25
J	Productos informáticos, electrónicos y ópticos	26
K	Vehículos de motor	29
L	Energía y agua	35, 36
M	Saneamiento, gestión de residuos y descontaminación	37, 38, 39
N	Construcción	41, 42, 43
O	Comercio	45, 46, 47
P	Transportes y almacenamiento	49, 50, 51, 52, 53
Q	Información y comunicaciones	58, 59, 60, 61, 62, 63

* Clasificación Nacional de Actividades Económicas.

Fuente: elaboración propia.

Anexo 2

Contrastes en el análisis factorial

Previamente a la extracción de los factores, se pueden realizar dos contrastes para analizar la pertinencia de la aplicación del análisis factorial a un conjunto de variables observables.

En primer lugar, el contraste de esfericidad de Barlett prueba si las p variables originales están correlacionadas entre sí o no lo están. Si no lo estuvieran, no existirían factores comunes y, por lo tanto, no tendría sentido aplicar el análisis factorial.

En particular, el test de Barlett plantea el siguiente contraste:

$$H_0 : |R_p| = 1$$

$$H_1 : |R_p| \neq 1$$

donde se asume como hipótesis nula que la matriz de correlaciones de las variables observables, R_p , es una matriz identidad, en cuyo caso no existirían correlaciones significativas entre las variables y no sería adecuado realizar el análisis factorial.

En segundo lugar, la medida de adecuación muestral KMO propuesta por Kaiser, Meyer y Olkin viene dada por:

$$KMO = \frac{\sum_i \sum_{h \neq i} r_{ih}^2}{\sum_i \sum_{h \neq i} r_{ih}^2 + \sum_i \sum_{h \neq i} a_{ih}^2},$$

donde r_{ih} es el coeficiente de correlación de Pearson entre las variables X_i y X_h y a_{ih} es el coeficiente de correlación parcial entre las variables X_i y X_h .

La medida KMO compara las magnitudes de los coeficientes de correlación observados con las magnitudes de los coeficientes de correlación parcial y toma valores entre 0 y 1. Un valor inferior a 0,5 indica las correlaciones parciales entre las variables son grandes. En este caso, no es conveniente aplicar el análisis factorial ya que se necesitarían casi tantos factores como variables para explicar un porcentaje de variabilidad aceptable.

Anexo 3

Rotación de los componentes Varimax

Con el análisis factorial se persigue que los factores comunes se puedan interpretar de forma clara ya que, de esa forma es más sencillo analizar la relación entre las variables originales. Sin embargo, con independencia del método de extracción utilizado, en muchas ocasiones resulta difícil encontrar una interpretación de los factores. Por ello, los procedimientos de *rotación de factores* tienen por objetivo obtener factores que sean fácilmente interpretables.

Existen dos formas de rotar los ejes: la rotación ortogonal y la rotación oblicua. En la primera, los ejes rotados siguen siendo perpendiculares mientras que, en la segunda, los ejes ya no son ortogonales por lo que los factores dejan de estar incorrelacionados.

El método de rotación ortogonal más utilizado es el denominado *Varimax*, el cual consigue que cada factor presente únicamente correlaciones con unas cuantas variables, minimizando el número de variables que tienen saturaciones altas en cada factor. También existen otras formas de rotación ortogonal como son el método *Quartimax* y el método *Equamax*. Entre los diversos procedimientos de rotación oblicua cabe destacar los métodos *Oblimin directo* y *Promax*.

Anexo 4

Variables consideradas en la dimensión de Entrada. Descripción

Código	Variable	Descripción
E1	Desarrollo de I+D interna.	Porcentaje de empresas que han llevado a cabo trabajos dentro de la misma para aumentar el volumen de conocimientos e idear productos y procesos nuevos o mejorados (incluido el desarrollo de software).
E2	Adquisición de maquinaria, equipos y hardware o software avanzados y edificios.	Porcentaje de empresas que han adquirido maquinaria, equipos, hardware o software avanzados y edificios destinados a la producción de productos o procesos nuevos o mejorados de manera significativa.
E3	Formación de los trabajadores para actividades de innovación.	Porcentaje de empresas con actividades innovadoras que han formado a su personal para desarrollar o introducir productos o procesos nuevos o mejorados de manera significativa.
E4	Cooperación con otras empresas de su mismo grupo.	Porcentaje de empresas que han participado activamente con otras empresas de su mismo grupo en actividades de innovación.
E5	Cooperación con competidores u otras empresas de su rama de actividad.	Porcentaje de empresas que han participado activamente con competidores u otras empresas de su rama de actividad en actividades de innovación.
E6	Cooperación con consultores o laboratorios comerciales.	Porcentaje de empresas que han participado activamente con consultores o laboratorios comerciales en actividades de innovación.
E7	Cooperación con universidades u otros centros de enseñanza superior.	Porcentaje de empresas que han participado activamente con universidades u otros centros de enseñanza superior en actividades de innovación.
E8	Cooperación con centros de investigación públicos o privados.	Porcentaje de empresas que han participado activamente con otras empresas de su mismo grupo en actividades de innovación.

Fuente: elaboración propia en base a INE (2016).

Anexo 5

Variables consideradas en la dimensión de Proceso. Descripción

Código	Variable	Descripción
P1	Introducción de nuevos métodos de fabricación.	Porcentaje de empresas que han introducido métodos de fabricación o producción de bienes o servicios nuevos o mejorados de manera significativa.
P2	Introducción de nuevos sistemas logísticos o métodos de distribución.	Porcentaje de empresas que han introducido sistemas logísticos o métodos de entrega o distribución nuevos o mejorados de manera significativa para sus insumos, bienes o servicios.
P3	Introducción de nuevas actividades de apoyo para los procesos.	Porcentaje de empresas que han introducido actividades de apoyo para sus procesos, como sistemas de mantenimiento u operaciones informáticas, de compra o de contabilidad, nuevas o mejoradas de manera significativa.
P4	Introducción de nuevas prácticas empresariales en la organización del trabajo.	Porcentaje de empresas que han introducido nuevas prácticas empresariales en la organización del trabajo o de los procedimientos de la empresa. Por ejemplo, la gestión de la cadena de suministro, sistemas de gestión del conocimiento, reingeniería de negocios, producción eficiente, gestión de la calidad y/o sistemas de educación y formación, entre otros.
P5	Introducción de nuevos métodos de organización de los lugares de trabajo.	Porcentaje de empresas que han introducido nuevos métodos de organización de los lugares de trabajo en su empresa con el objetivo de un mejor reparto de responsabilidades y toma de decisiones. Por ejemplo, el uso por primera vez de un nuevo sistema de reparto de responsabilidades entre los empleados, gestión de equipos de trabajo, descentralización, reestructuración de departamentos y/o sistemas de educación/formación, entre otros.
P6	Introducción de nuevos métodos de gestión de las relaciones externas.	Porcentaje de empresas que han introducido nuevos métodos de gestión de las relaciones externas con otras empresas o instituciones públicas. Por ejemplo, la creación por primera vez de alianzas, asociaciones, externalización y/o subcontratación, entre otros.

Fuente: elaboración propia en base a INE (2016).

Anexo 6

VARIABLES CONSIDERADAS EN LA DIMENSIÓN DE SALIDA. DESCRIPCIÓN

Código	Variable	Descripción
S1	Impacto económico de las innovaciones de productos sobre la cifra de negocios de 2014.	Porcentaje de la cifra de negocios total de 2014 debido a innovaciones en bienes y servicios.
S2	Introducción de productos nuevos o mejorados en el mercado.	Porcentaje de empresas que han introducido productos y/o servicios nuevos o mejorados en el mercado.
S3	Introducción de modificaciones en el diseño o envasado del producto.	Porcentaje de empresas que han introducido modificaciones significativas del diseño del producto o en el envasado de los bienes o servicios.
S4	Introducción de nuevas técnicas o canales para promocionar el producto.	Porcentaje de empresas que han introducido nuevas técnicas o canales para la promoción del producto. Por ejemplo, el uso por primera vez de un nuevo canal publicitario o la introducción de tarjetas de fidelización de clientes.
S5	Introducción de nuevos métodos para el posicionamiento del producto en el mercado.	Porcentaje de empresas que han introducido nuevos métodos para el posicionamiento del producto en el mercado o canales de ventas. Por ejemplo, el uso por primera vez de franquiciado o licencias de distribución, venta directa y/o venta al por menor en exclusiva, entre otros.

Fuente: elaboración propia en base a INE (2016).

Anexo 7**VARIABLES CONSIDERADAS EN LA DIMENSIÓN DE ENTRADA. VALOR**

Sector	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	30,93	61,16	22,09	3,19	5,26	6,38	9,73	12,92
Industrias extractivas y del petróleo	60,38	37,74	15,09	6,02	6,02	4,82	10,84	13,25
Alimentación, bebidas y tabaco	58,94	41,14	26,03	9,69	6,76	10,21	10,99	13,91
Textil, confección, cuero y calzado	53,85	38,46	24,36	4,19	4,82	7,13	3,14	14,88
Química	85,63	22,50	19,38	11,44	5,18	9,54	12,67	16,08
Farmacia	89,83	29,38	16,95	28,06	12,76	20,92	31,12	28,06
Productos minerales no metálicos	63,64	39,67	19,01	7,14	2,65	4,50	8,47	13,49
Metalurgia	66,45	43,42	21,71	17,87	6,76	9,18	9,18	21,74
Manufacturas metálicas	55,57	38,99	31,66	7,52	4,94	6,08	7,72	12,87
Productos informáticos, electrónicos y ópticos	89,78	22,26	22,26	14,52	9,03	10,00	18,06	19,03
Vehículos de motor	68,94	32,95	22,35	24,16	2,75	7,95	5,50	14,98
Energía y agua	67,92	36,79	4,72	29,08	20,57	19,15	34,75	34,04
Saneamiento, gestión de residuos y	51,85	44,44	29,63	8,78	5,37	5,37	11,22	10,24
Construcción	41,57	48,96	37,72	6,15	7,83	7,05	10,18	12,30
Comercio	20,17	56,10	50,03	5,05	3,30	4,60	3,21	4,89
Transportes y almacenamiento	12,09	71,29	50,41	6,61	5,08	3,86	3,86	3,05
Información y comunicaciones	67,58	28,58	22,38	7,95	11,35	7,68	12,76	9,68

Fuente: elaboración propia en base a INE (2016).

Anexo 8

Variables consideradas en la dimensión de Proceso. Valor

Sector	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	66,15	6,73	20,58	60,87	63,08	20,87
Industrias extractivas y del petróleo	80,33	11,48	24,59	55,38	58,46	12,31
Alimentación, bebidas y tabaco	67,40	14,38	34,41	61,46	59,70	17,50
Textil, confección, cuero y calzado	43,39	12,72	30,92	56,16	62,69	17,91
Química	53,92	12,52	28,38	59,65	63,90	19,88
Farmacia	66,03	19,87	33,97	73,61	74,31	32,64
Productos minerales no metálicos	62,67	11,99	24,66	62,46	72,92	25,85
Metalurgia	75,28	11,24	23,03	69,23	78,70	24,26
Manufacturas metálicas	63,77	9,18	31,82	59,86	67,61	24,75
Productos informáticos, electrónicos y ópticos	50,95	15,97	38,40	67,58	64,38	21,92
Vehículos de motor	62,86	25,36	37,86	69,58	69,58	14,07
Energía y agua	39,13	20,00	65,22	73,91	78,88	48,45
Saneamiento, gestión de residuos y	44,81	12,99	54,55	71,78	73,86	31,12
Construcción	27,78	2,78	55,82	68,41	77,61	31,88
Comercio	19,77	25,96	65,96	52,99	66,41	16,83
Transportes y almacenamiento	19,21	36,97	59,33	70,24	70,38	29,28
Información y comunicaciones	29,16	11,99	49,48	59,54	64,25	29,52

Fuente: elaboración propia en base a INE (2016).

Anexo 9**Variables consideradas en la dimensión de Salida. Valor**

Sector	S1	S2	S3	S4	S5
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	5,25	42,50	27,60	30,38	29,23
Industrias extractivas y del petróleo	1,90	24,59	15,38	27,69	18,46
Alimentación, bebidas y tabaco	13,75	54,44	48,60	42,01	32,38
Textil, confección, cuero y calzado	13,36	56,11	36,94	43,84	34,14
Química	21,30	79,30	47,10	33,78	28,96
Farmacia	15,03	67,31	43,75	34,03	34,72
Productos minerales no metálicos	11,47	52,74	35,69	32,00	32,00
Metalurgia	19,12	56,18	13,61	20,71	20,12
Manufacturas metálicas	12,56	50,42	14,99	27,06	18,91
Productos informáticos, electrónicos y ópticos	36,26	82,51	42,01	40,18	34,25
Vehículos de motor	56,41	63,57	28,14	20,53	14,07
Energía y agua	7,92	46,09	9,94	21,12	22,36
Saneamiento, gestión de residuos y	23,12	38,31	11,62	27,80	17,43
Construcción	7,53	46,43	5,93	23,91	17,04
Comercio	5,47	32,86	14,31	46,69	31,99
Transportes y almacenamiento	4,82	31,69	7,76	23,95	19,97
Información y comunicaciones	27,91	76,02	23,35	47,14	37,40

Fuente: elaboración propia en base a INE (2016).

Anexo 10

Puntuaciones factoriales

Código de la variable	Entrada		Código de la variable	Proceso		Código de la variable	Salida	
	F1	F2		F1	F2		F1	F2
E1	-0,148	0,436	P1	0,093	-0,449	S1	-0,211	0,568
E2	0,213	-0,489	P2	-0,092	0,341	S2	0,047	0,437
E3	0,026	-0,273	P3	0,010	0,408	S3	0,228	0,204
E4	0,199	-0,020	P4	0,392	-0,113	S4	0,414	-0,146
E5	0,328	-0,206	P5	0,395	-0,089	S5	0,425	-0,103
E6	0,262	-0,082	P6	0,341	0,010	–	–	–
E7	0,271	-0,096	–	–	–	–	–	–
E8	0,184	0,030	–	–	–	–	–	–

Fuente: elaboración propia.