

Visualización de la transformación digital del sector de máquina-herramienta. Hacia una Industria 4.0.

Visualisation of the digital transformation of the machine tool sector. Towards Industry 4.0.



Javier Gavilanes-Trapote, Rosa María Río-Belver, Ernesto Cilleruelo-Carrasco y Alejandro Rodríguez-Andara
Universidad del País Vasco. (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8813>

La Industria 4.0 es una estrategia alemana iniciada en 2013, cuyo nombre hace referencia a la Cuarta Revolución Industrial (4IR), donde las industrias manufactureras que albergan máquinas y productos interconectados, crean sistemas y redes inteligentes capaces de comunicarse entre sí de forma autónoma [1].

La Industria 4.0 tiene como objetivo la digitalización de las fábricas a través de la convergencia de las tecnologías de fabricación con las nuevas tecnologías propias de la 4IR [2,3]. Esta combinación de sistemas de producción con procesos de producción inteligentes, facilitará la transición a una nueva era tecnológica que transformará la cadena de valor de la industria y sus modelos de negocio [4].

Por otra parte, los documentos de patentes constituyen la mayor colección de literatura científico-técnica del mundo. La información que presentan está estructurada por campos, la cual presenta un elevado potencial para su análisis estadístico [5]. Desde los primeros trabajos donde se utilizaron las patentes como indicadores de actividades tecnológicas [6], el uso de la información que contienen ha experimentado un cambio más que significativo, de tal forma que en la actualidad es casi imposible encontrar trabajos sobre los procesos de innovación o las capacidades tecnológicas de cualquier organización, región o país sin que se utilicen las patentes como indicadores.

A través de la información contenida en las patentes, estas pueden clasificarse por sectores tecnológicos. Principalmente se utilizan dos sistemas de clasificación:

La Clasificación Internacional de Patentes (CIP) y la Clasificación Cooperativa de Patentes (CPC). Ambas son sistemas de códigos que permite clasificar y organizar la tecnología de acuerdo con un esquema jerárquico de secciones, clases, subclases y grupos, designados por una serie de letras del alfabeto latino y números arábigos. El sistema CPC es de reciente creación, 1 de enero de 2013, y se basa en el sistema CIP pero con un mayor nivel de detalle en subclases y grupos. Por ello, es de esperar que una búsqueda a través del sistema CPC sea más precisa y devuelva un mayor número de resultados que a través del sistema CIP.

Los documentos de patentes, al igual que los artículos científicos, albergan un campo que indica las citas de patentes, es decir, las invenciones tecnológicas previas en las que se basa la patente. Las patentes citadas proporcionan un conocimiento

tecnológico que genera a su vez nuevas invenciones, las cuales guardan inevitablemente una relación cognitiva [7]. Estas relaciones cognitivas entre patentes citadas es lo que se conoce como flujos de conocimiento tecnológico, es decir, trasvases de conocimiento entre grupos de patentes. Las agrupaciones pueden realizarse a través de diferentes campos, pudiendo determinar los flujos de conocimiento entre empresas, regiones o sectores tecnológicos. El estudio de las citas de patentes puede proporcionar información sobre cuáles son las patentes más influyentes en un sector, el ciclo de vida de la tecnología, la convergencia tecnológica o las fusiones tecnológicas, entre otros.

Con el fin de comprender la influencia de la 4IR en el sector Máquina-Herramienta, el presente trabajo pretende identificar y visualizar las tecnologías propias de la Industria 4.0 que están impulsando la digitalización y transformación de la Máquina-Herramienta, así como la fase del ciclo de vida en la que se encuentran y las organizaciones y países más representativos.

1. METODOLOGÍA

En la Fig. (1) se representan los pasos seguidos para recopilar y analizar los datos de la muestra de estudio.

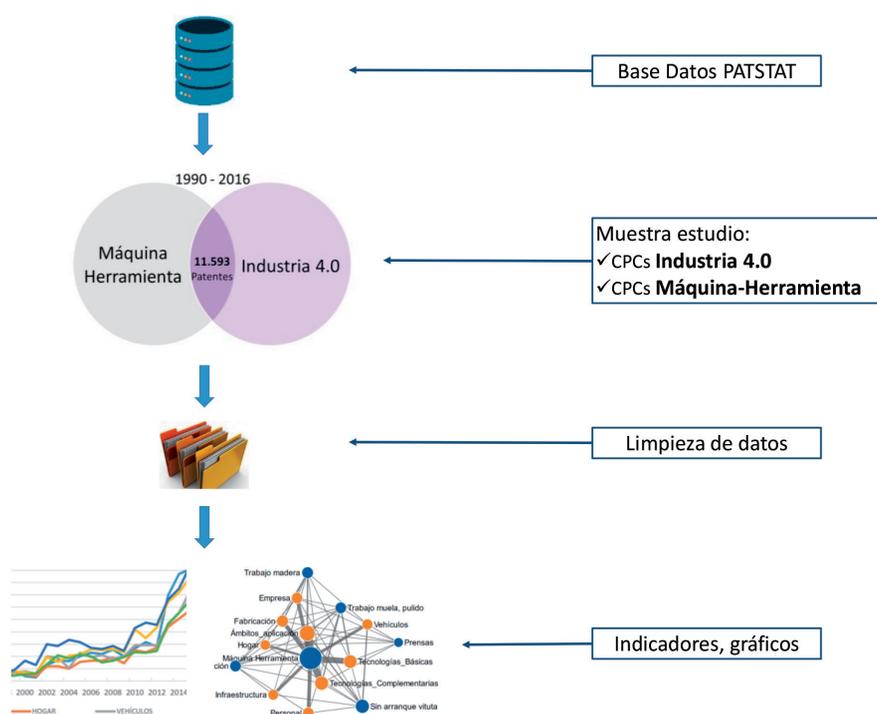


Fig. 1: Gráfico explicativo de la metodología de estudio

Para este estudio se ha tomado como referencia la base de datos de la Oficina Europea de Patentes (EPO) denominada PATSTAT. Esta base es de ámbito global e incluye patentes de más de 80 oficinas de patentes de todo el mundo, incluyendo las oficinas más importantes: la americana (USPTO), la europea (EPO) y la japonesa (JPO).

Para determinar la influencia de las nuevas tecnologías de la Industria 4.0 en el sector Máquina-Herramienta, la muestra debe contener todas aquellas patentes donde su innovación tecnológica esté relacionada con ambos sectores.

En el caso de las tecnologías de la Industria 4.0, los examinadores de la Oficina Europea de Patentes (EPO), a través de un riguroso procedimiento, han seleccionado las solicitudes de patentes a través de 322 rangos de campos CPC, para más información ver informe de la EPO [8]. Estas solicitudes de patentes vinculadas con la Industria 4.0 se han dividido a su vez en tres sectores principales: "Tecnologías básicas", "Tecnologías complementarias" y "Ámbitos de aplicación", cada uno de los cuales se subdivide en varios campos tecnológicos. La definición de cada campo se puede ser consultada en la página web de DYNA.

Por otro lado, para identificar las invenciones relacionadas con la Máquina-Herramienta se ha utilizado la clasificación de Hidalgo-Nuchera, A. [9] donde se identifican dichas invenciones a través de los códigos CIP y se agrupan en seis sectores. La definición de cada sector se puede ser consultada en la página web de DYNA. Para la recogida de los datos del presente estudio, los códigos CIP se han considerado como códigos CPC al tener la misma definición y considerarse una clasificación más completa.

Una vez identificados los códigos, se confeccionaron varias queries (pueden ser consultadas en la página web de DYNA) para realizar la consulta a la base de datos y extraer toda la información relevante de las patentes de estudio. La primera y más importante condición para la búsqueda fue que las patentes deberían tener algún código CPC relacionado con la Industria 4.0 y al menos otro relacionado con Máquina-Herramienta. La segunda condición fue la fecha de solicitud de las patentes, determinada entre los años 1990 y 2016. Finalmente se obtuvieron 11.593 solicitudes de patentes relacionadas tanto con la Máquina-Herramienta como con las nuevas tecnologías de la Industria 4.0 entre los años 1990 y 2016.

Los resultados extraídos de la base de datos se descargaron en ficheros ".csv"

para su posterior importación al programa de minería de textos, Vantage Point® (VP). El software permite la fusión de los datos de diferentes archivos importados a través del campo clave "appln_id". Posteriormente se realizaron las etapas de eliminación de registros duplicados (comando "Remove Duplicate Records") y limpiado de datos que permiten preparar la muestra para su análisis.

La etapa de limpieza pretendió resolver uno de los problemas más reseñables de las bases de datos bibliográficas, los errores y la falta de consistencia de los datos. Tanto para los productores de bases de datos como para los investigadores que descargan datos con fines científicos, la falta de normalización y los errores suponen la pérdida de información que obliga al desarrollo de sistemas correctores, casi siempre personalizados, que garanticen el rigor de la investigación, tan dependiente de la calidad de los datos.

De los campos utilizados para el presente estudio, el "har_name" es el que ha requerido mayor trabajo para su limpieza. La normalización de las organizaciones solicitantes de las patentes que contiene este campo requiere enfrentarse a dos problemas principales: la homonimia (dos solicitantes con el mismo nombre) y la sinonimia (distintas variantes de nombre referidas a un único solicitante). El programa Vantage Point dispone de algoritmos de agrupamiento (fuzzy clustering) que intentan resolver este problema. En la práctica, termina siendo necesario revisar uno por uno los nombres de los solicitantes y realizar manualmente las agrupaciones a través de un interfaz que tiene el programa dentro del comando "List cleanup...".

Por último, con los datos seleccionados, correctamente fusionados y limpia-

dos se realizaron los diferentes análisis de minería de textos. El Tech-mining permite el análisis de la información tecnológica desde múltiples enfoques a través de herramientas de análisis estadísticos [10]. El resultado es la elaboración de visualizaciones de la tecnología y sus interacciones que permiten comprender, los principales actores, las relaciones entre los mismos, y los flujos de conocimiento generado.

2. RESULTADOS

2.1. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0 EN LA MÁQUINA-HERRAMIENTA

Aunque el término Industria 4.0 es relativamente nuevo, los desarrollos tecnológicos aplicados a la Máquina-Herramienta aparecieron por primera vez hace casi 40 años. Como se puede observar en la Fig. (2), al comienzo de la década de los 90, el número de invenciones no fue muy elevado, pero fue aumentando poco a poco hasta 2006, asemejándose a un crecimiento exponencial con un ajuste de 0,92 y una tasa de crecimiento del 0,078. En los años siguientes el crecimiento se estanca o disminuye ligeramente hasta que en el 2009 se vuelve a presentar un crecimiento exponencial, con una alta tasa de crecimiento (0,18) y un buen ajuste de los datos (0,98).

El "Hardware" y los dominios de aplicación "Fabricación" y "Vehículos" han atraído el mayor número de solicitudes de patentes de este tipo hasta la fecha, mientras que los campos de más rápido crecimiento son "Seguridad", "Inteligencia artificial", "Interfaz de usuario" e "Infraestructura".

Son numerosas las compañías que han desarrollado invenciones para la Industria 4.0 dentro del sector Máquina-Herra-

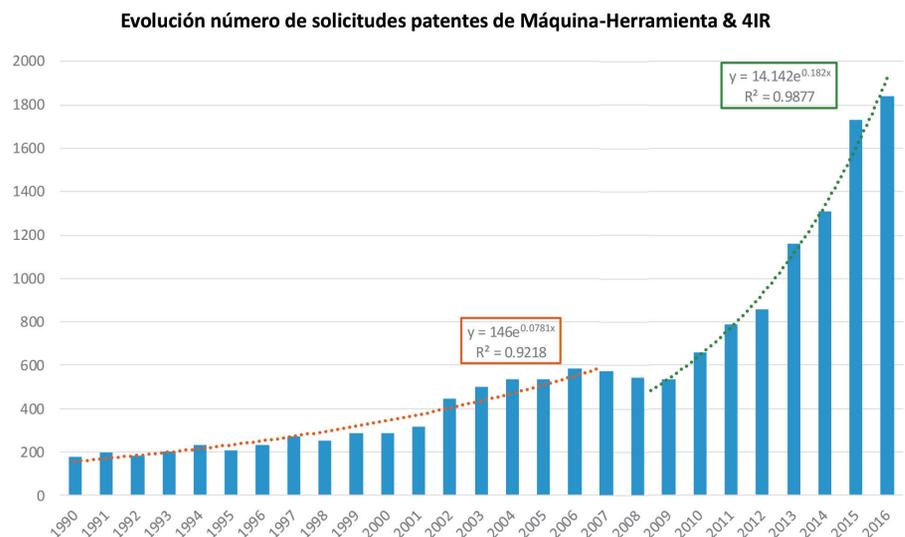


Fig. 2: Número de solicitudes de patentes por año relacionadas con la digitalización de la Máquina-Herramienta

mienta, concentrando en unas pocas la mayoría de los avances. De las 10 más importantes, ocho están radicadas en EE.UU. y las otras dos restantes en Alemania. En primera posición, encontramos la multinacional americana Boeing, dedicada a la fabricación de aeronaves. En el caso de las alemanas, tenemos la compañía Bosch en tercera posición, dedicada a proporcionar soluciones en el sector industrial, de consumo, movilidad y edificación.

Desde el punto de vista geográfico, EE.UU. y Europa son claramente los líderes en la transformación digital de la Máquina-Herramienta, seguido de lejos por Japón. China, aunque ocupa la decimo-cuarta posición hay que tenerla en cuenta debido al crecimiento exponencial que ha tenido en los últimos años.

En Europa, Alemania y Francia son los países más innovadores en la convergencia entre las tecnologías de la 4IR y la Máquina-Herramienta. Ambos destacan en los ámbitos de aplicación "Fabricación" y "Vehículos".

Los porcentajes relativos del número de patentes de cada región a lo largo de los últimos años pueden ser consultados en la página web de DYNA.

2.2. VISUALIZACIÓN DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DEL SECTOR MÁQUINA-HERRAMIENTA

Para entender la transformación que está sufriendo el sector Máquina-Herramienta gracias a la 4IR, se pueden estudiar los antecedentes tecnológicos a través de las citas de sus patentes. Estos documentos permiten hacer un seguimiento de la evolución del conocimiento y determinar los sectores o tecnologías propias que han influido en mayor medida en la Máquina-Herramienta a lo largo del tiempo.

A continuación, se presentan dos tipos de visualizaciones que pretenden ayudar a identificar los campos propios de la 4IR que han contribuido al rápido aumento de la digitalización de la Máquina-Herramienta. La primera, refleja la evolución anual del número de patentes relacionadas con la 4IR que han sido citadas por las patentes de estudio. La segunda visualización, representa de igual forma los flujos de conocimiento, pero desagregando el sector Máquina-Herramienta en subsectores. Además, a través del tamaño de cada nodo podemos ver que subsectores, campos tecnológicos o ámbitos de aplicación han innovado más o han aportado más conocimiento respectivamente, entre paréntesis se indica el número de patentes que los componen. Por último, el grosor de los enlaces determina la cantidad de

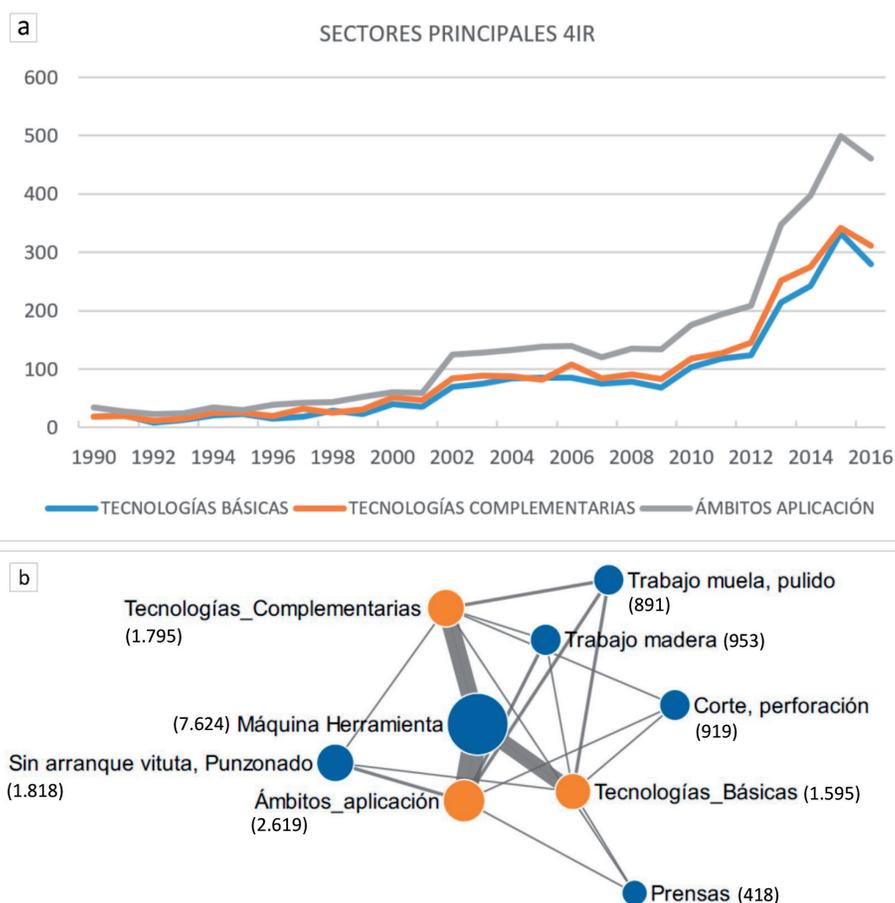


Fig. 3: Influencia de los sectores principales de la Industria 4.0 a través de las citas de Máquina-Herramienta entre los años 1990-2016

conocimiento tecnológico que aporta la Industria 4.0 al sector Máquina-Herramienta a través del número de citas de patentes, posibilitando en gran medida su digitalización.

En la Fig. (3a) se presenta la influencia de la 4IR en la Máquina-Herramienta a través de sus tres sectores principales. Se puede observar como los tres sectores han contribuido, pero no en la misma proporción. La contribución del sector "Ámbitos aplicación" ha sido significativamente mayor que el resto de sectores, sobre todo en los últimos años.

Nota: Todos los datos del año 2016 sufren un efecto de truncamiento debido a la imposibilidad de conocer todas las patentes solicitadas en dicha fecha, es decir, existe un desfase de tiempo entre la solicitud de la patente y la publicación de la misma, imposibilitando su identificación.

En la Fig. (3b) se representan los flujos de conocimiento tecnológico de cada uno de los sectores de la Industria 4.0 hacia cada uno de los subsectores de la Máquina-Herramienta. Los nodos de color azul representan el sector Máquina-Herramienta a través de los diferentes subsectores en los que se ha dividido. Por el contrario, los nodos de color naranja representan a la Industria 4.0 a través de sus

diferentes campos tecnológicos y ámbitos de aplicación. Se observa como el subsector "Máquina-Herramienta" ocupa la posición central recibiendo el mayor flujo de conocimiento de cada uno de los sectores de la Industria 4.0, siendo "Ámbitos aplicación" el de mayor influencia con 2.415 citas, y "Tecnologías Básicas" el de menor con 1.478 citas.

A continuación, se presentan los análisis desagregados de cada una de las tecnologías básicas, complementarias y ámbitos de aplicación de la industria 4.0 en la Máquina-Herramienta.

La Fig. (4a) muestra las tendencias de influencia de cada una de los tres campos centrales del sector "Tecnologías Básicas" en la Máquina-Herramienta. Entre 1990 y 2016, 1.707 nuevas patentes en Máquina-Herramienta fueron solicitadas apoyándose en el conocimiento del campo "Hardware" y solo 743 en "Conectividad" y 612 en "Software".

Por otro lado, en la Fig. (4b) se observa de forma desagregada como el mayor flujo de conocimiento del campo "Hardware" es hacia el subsector "Máquina-Herramienta" (1.290 citas), seguido de lejos por "Trabajo muela, pulido" (118 citas), "Trabajo madera" (64 citas) y "Corte, perforación" (49 citas).

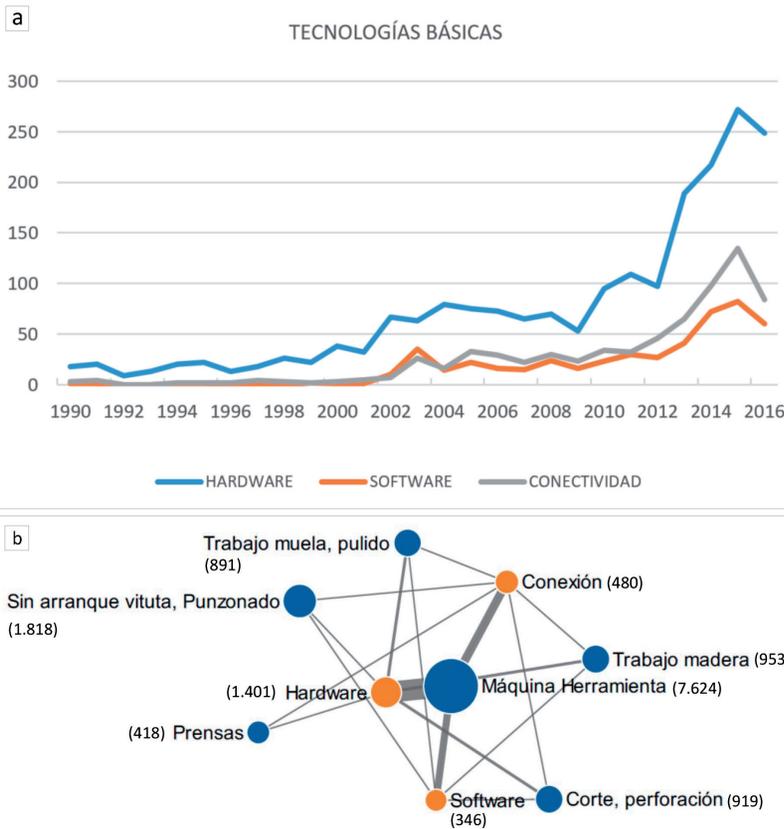


Fig. 4: Influencia del sector "Tecnologías básicas" a través de las citas en la Máquina-Herramienta entre los años 1990-2016

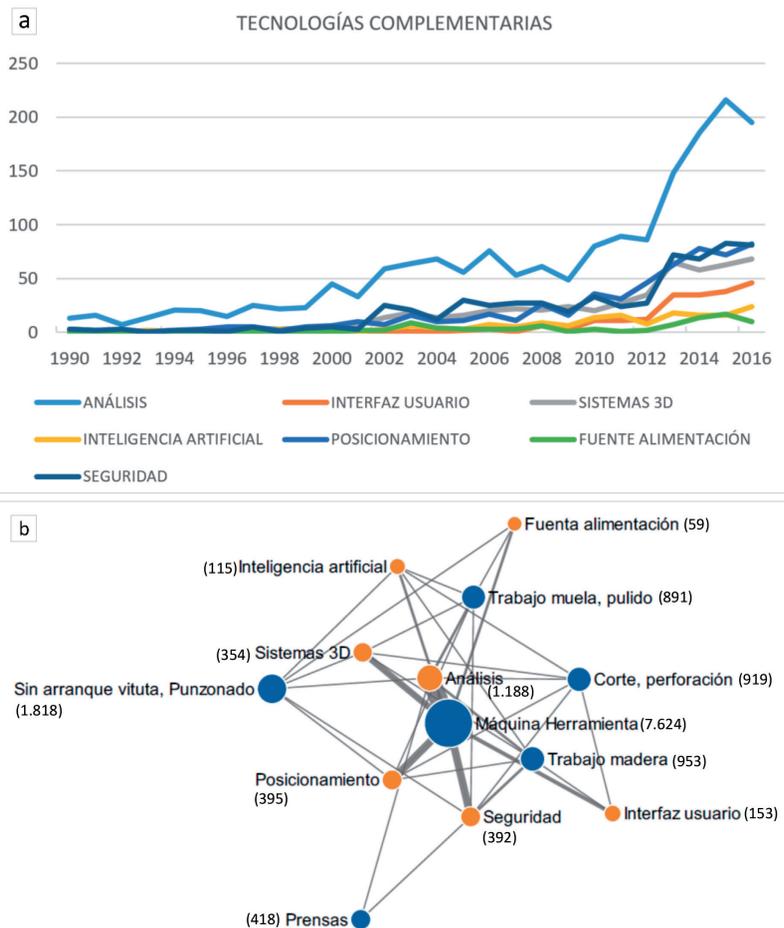


Fig. 5: Influencia del sector "Tecnologías complementarias" a través de las citas en la Máquina-Herramienta entre los años 1990-2016

La captura de conocimiento a través de los siete campos del sector "Tecnologías complementarias" ha sido bastante des-

igual pero creciente, sobre todo a partir de 2012, Fig. (5a).

En la Fig. (5b) el subsector "Máquina-

Herramienta" sigue siendo el de mayor digitalización con 1.688 citas de los diferentes campos del sector "Tecnologías complementarias" seguido de "Sin arranque vituta, Punzonado".

Por último, en las Fig. (6a y 6b) se presentan los seis ámbitos de aplicación con influencias homogéneas en el sector Máquina-Herramienta a lo largo de los diferentes años.

En la Fig. (6a) se observa como el ámbito que más conocimiento aporta es "Fabricación", seguida de "Empresa" y "Persona".

En la Fig. (6b), el subsector "Máquina-Herramienta" vuelve a ser el más representado, pero en esta ocasión a diferencia de las tecnologías complementarias, la influencia de la Industria 4.0 a través de sus ámbitos de aplicación es relativamente homogénea, siendo "Fabricación" el más influyente con 995 citas.

3. DISCUSIÓN

Si analizamos la convergencia de las tecnologías de la Industria 4.0 y la Máquina-Herramienta a través del concepto "ciclo de vida tecnológico", la Fig. (2) sugiere que hemos superado la fase emergente, un periodo con un número relativamente bajo de invenciones y una tasa de crecimiento moderada. Por otro lado, desde 2009 estamos en la fase de crecimiento temprano, con las tecnologías en pleno desarrollo y con una alta tasa de crecimiento exponencial. Esto sugiere, una mayor aceleración de la actividad inventiva en los próximos años, antes de que se alcance la fase de madurez o crecimiento tardío donde las tecnologías se estabilizan.

Las regiones que se reparten a partes iguales la digitalización del sector Máquina-Herramienta son EE.UU. y Europa. Japón, a pesar de ser una de las 4 principales potencias, que está compitiendo en la carrera hacia la Industria 4.0, en lo referido al sector Máquina-Herramienta se encuentra muy lejos de las primeras posiciones. En Europa, el país a la cabeza es Alemania, con una digitalización centrada en el Hardware a través de sensores, actuadores y microcontroladores. Sin embargo, el verdadero valor añadido se espera que venga de la mano del software. China a través de la reciente reforma del sector manufacturero, priorizando la producción basada en invenciones y siguiendo una estrategia similar a la de Alemania con su proyecto "Industria 4.0", se espera que se posicione entre las primeras potencias en los próximos años, aunque antes deberá resolver ciertos problemas como la protección de datos, la seguridad ciberné-

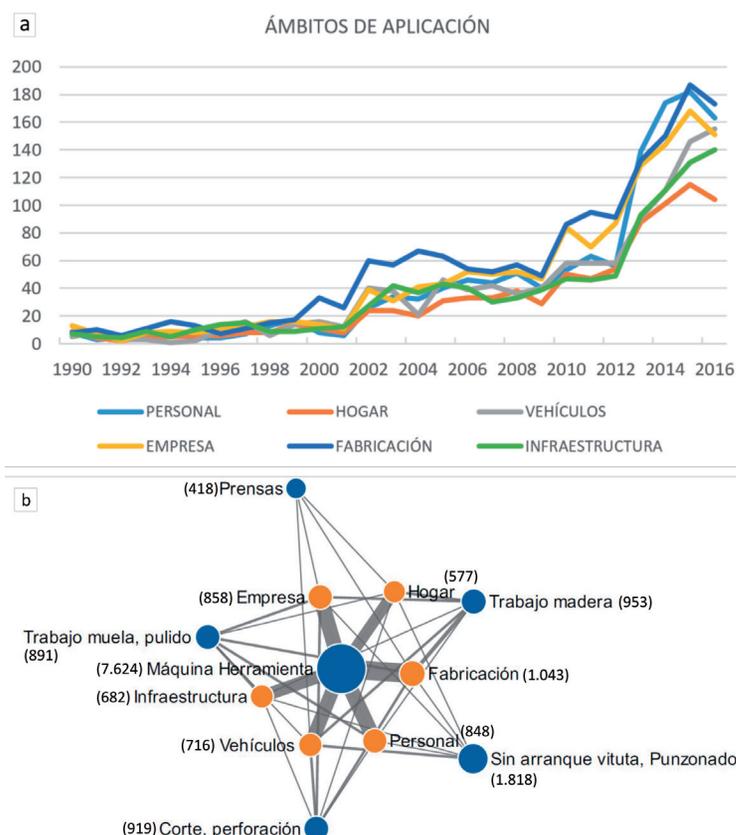


Fig. 6: Influencia del sector "Ámbitos de aplicación" a través de las citas en la Máquina-Herramienta entre los años 1990-2016

tica o la neutralidad de la red.

De las tecnologías básicas de la 4IR, "Hardware" es con diferencia la que más flujos de conocimiento presenta hacia el sector de Máquina-Herramienta. Esto puede explicarse por dos razones: La primera, por estar analizando un sector maduro y compuesto principalmente por maquinaria. La segunda, por la evolución creciente de la necesidad de conectar tantas "máquinas inteligentes" como sea posible para que se comuniquen entre sí, puedan recoger datos, analizar la información y tomar decisiones de forma autónoma. A pesar de ello, la previsión para los próximos años es que se produzca un aumento en el desarrollo de tecnología de software para resolver los problemas de conectividad y hardware y mejorar la funcionalidad de los sistemas 4IR en Máquina-Herramienta.

En el caso de las tecnologías complementarias de la 4IR, aunque "Análisis" aparece como la más citada entre las patentes de estudio, es de esperar un aumento de la influencia del campo "Seguridad" en los nuevos desarrollos de Máquina-Herramienta como ya ocurre en otros sectores. El campo "Análisis" comprende invenciones de sistemas de diagnóstico para grandes cantidades de datos, que a menudo son críticos para el funcionamiento de los sistemas. Por lo tanto, el acceso a esta información debe protegerse mediante medidas de seguridad reforzadas a nivel de base de

datos, software y dispositivos, de modo que las aplicaciones de análisis de datos puedan desarrollar todo su potencial empresarial.

Respecto al sector "Ámbitos de aplicación", resaltar tres ámbitos: "Fabricación" como el más citado, principalmente a través de diversas empresas americanas como Boing y la alemana Bosch. "Empresa" al ser el segundo ámbito más influyente, citado por un amplio número de empresas. Por último, "Personal" como el tercer ámbito más citado, donde Illinois Tool Works es la empresa que más se beneficia del conocimiento de este ámbito.

Desde el punto de vista del sector Máquina-Herramienta, el subsector "Máquina-Herramienta", presenta el mayor número de invenciones relacionadas con la 4IR, ocupando la posición central de la red. Alrededor, se ubican los campos y ámbitos tecnológicos de la Industria 4.0 que más han colaborado en su desarrollo. Este subsector, está representado principalmente por las empresas norteamericanas Boing e Illinois Toll Works y la alemana Bosch. Estas compañías, se han apoyado principalmente en la tecnología básica "Hardware" y las complementarias "Análisis" y "Fabricación" para desarrollar sus invenciones. El segundo subsector con más solicitud de patentes, es el relacionado con trabajos sin arranque de viruta y corte por punzonado. Aquí vuelve a aparecer la multinacional Boing como

máximo representante seguida de Ethicon, Inc., empresa subsidiaria de Johnson & Johnson, dedicada a la fabricación de suturas quirúrgicas y dispositivos para el cierre de heridas.

El presente trabajo no solo ha explicado la creciente influencia de la 4IR en el sector Máquina-Herramienta a través de los flujos tecnológicos, sino que ha identificado qué ámbitos son los más influyentes, así como las organizaciones y países más representativos. Los flujos tecnológicos muestran el camino seguido en la transmisión del conocimiento, lo que permite comprobar si los resultados han sido los esperados y realizar modificaciones para corregir las desviaciones. Son, por tanto, una herramienta estratégica de la toma de decisiones en ciencia y tecnología.

PARA SABER MÁS

[1] Kagermann H, Wahlster W, Helbig J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. National Academy of Science and Engineering, 2013.

[2] Lee J, Bagheri B, Kao HA. "A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems". Manufacturing Letters. Junio 2015. Vol.3 p.18-23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>

[3] Lasi H, Fettke P, Kemper HG, et al. "Industry 4.0". Business and Information Systems Engineering the international journal of Wirtschaftsinformatik. Agosto 2014. Vol.56(4) p.239-42. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11576-014-0424-4>

[4] OECD. Patent Statistics Manual. Paris: OECD Publishing, 2009. 158p. ISBN: 978-9264054127.

[5] Schmookler Jacob. Invention and economic growth. Harvard University Press, 1966. 332p. ISBN: 978-0674464001.

[6] Zhong R, Xu X, Klotz E, et al. "Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review". Engineering. Vol.3(5) p.616-630. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>

[7] Hall B, Jaffe A, Trajtenberg M. "The NBER Patent Citation Data File: Lessons, Insights and Methodological Tools". National Bureau of Economic Research. 2001. No. W8498.

[8] EPO. Patents and the Fourth Industrial Revolution. European patent Office, 2017.

[9] Hidalgo-Nuchera Antonio. Los patrones de innovación en España a través del análisis de patentes. Madrid: Oficina Española de Patentes y Marcas, 2003. 130 p. ISBN: 84-86857-95-3.

[10] Rodriguez-Salvador M, Rio-Belver R M, Garechana-Anacabe G. "Scientometric and patentometric analyses to determine the knowledge landscape in innovative technologies: The case of 3D bioprinting". PLoS ONE. 2017. Vol. 12(6). pp. 1-22. DOI:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180375>

MATERIAL SUPLEMENTARIO

https://www.revistadyna.com/documentos/pdfs/_adic/8813-1.pdf

