

Universitat Oberta de Catalunya

OIKONOMICS

Revista de economía, empresa y sociedad

N.º 12, noviembre de 2019

ÍNDICE

N.º 12, noviembre de 2019

Dossier «Revolución 4.0: progreso o precarización?» coordinado por Josep Lladós

Editorial: Revolución 4.0: ¿progreso o precarización?

Josep Lladós

Revoluciones industriales: un concepto espurio

Eduard Aibar

Industria 4.0 y resultados empresariales en España: un primer escaneado

Joan Torrent-Sellens

¿Nos robarán los robots los puestos de trabajo? Un vistazo al mercado laboral en España

Josep Lladós

Los nuevos perfiles profesionales en el marco de la Industria 4.0

Xavier Pi Palomés, Pere Tuset-Peiró

Retos y oportunidades del uso de la inteligencia artificial en las administraciones públicas

Agustí Cerrillo i Martínez

El juez artificial: ¿próxima parada?

David Martínez Zorrilla

Editorial

Revolución 4.0: ¿progreso o precarización?

Josep Lladós

Profesor agregado de los Estudios de Economía y Empresa de la UOC
 Coordinador del dossier de la edición número 12 de *Oikonomics*

One, a robot may not injure a human being, or, through inaction, allow a human being to come to harm.
Two, a robot must obey the orders given it by human beings except where such orders would conflict with the First Law.
And three, a robot must protect its own existence as long as such protection does not conflict with the First or Second Laws.
Right! Now where are we? (Runaround. Isaac Asimov, 1942)

En el año 1942, en pleno conflicto bélico mundial, el científico y escritor Isaac Asimov publicó «Runaround», un relato corto donde enumeraba por primera vez las conocidas tres leyes de la robótica, abriendo paso a una fecunda y exitosa producción de obras de ciencia ficción que tenían en la robótica y en los adelantos de la inteligencia artificial uno de sus ejes principales.

Los adelantos tecnológicos y científicos vividos desde aquel momento han sido espectaculares, transformando las sociedades en las que vivimos y nuestra manera de organizar las actividades de producción, distribución, trabajo y consumo.

Cada episodio de cambio tecnológico abre oportunidades y genera beneficios sociales y económicos, pero también representa riesgos y comporta costes, porque la historia nos ha enseñado que ninguna ley económica justifica que pérdidas y ganancias se tengan que repartir como buenos hermanos. Cuando el cambio tecnológico impacta en el grueso de las actividades humanas puede tener una naturaleza disruptiva, y en estos casos se convierte en un reto para el estatus socioeconómico de los países que están implicados en una transformación de base tecnológica.

Actualmente se anuncia una revolución tecnológica de amplio alcance que tendría en los adelantos en robótica, en la inteligencia artificial o en el internet de las cosas algunos de sus principales responsables. Así pues, son frecuentes los estudios de impacto que presentan resultados muy dispares, en función de las hipótesis asumidas y de los métodos empleados, y que nos informan de una profunda transformación tecnológica, de naturaleza transversal, que amenazaría con dejar una huella duradera en los modelos de negocios, la organización del trabajo y nuestra manera de relacionarnos y de vivir. Es muy comprensible y legítima la preocupación existente sobre los efectos que esta nueva etapa de cambio tecnológico pueda tener sobre todo en los niveles y en la calidad del trabajo humano. Muchos años después continuaría siendo vigente, pues, preguntarse dónde estamos ahora.

En este número de la revista tratamos de ofrecer alguna luz adicional sobre las características y las consecuencias de la pomposamente llamada cuarta revolución industrial, en primer lugar reflexionando sobre su naturaleza. El artículo del profesor Aibar nos sitúa ante el espejo, interrogándonos sobre si realmente estamos ante una

auténtica revolución industrial, a pesar de que el imaginario colectivo y buena parte de la comunidad académica así lo crean, o bien si estamos participando acríticamente de una profecía que se va autocumpliendo, a modo de revolución premonitória, y que responde a algunos intereses políticos e ideológicos concretos. ¿Contribuimos inconscientemente a promover la sustitución de la política por la ingeniería?

Más allá del carácter revolucionario de la colección de tecnologías que se cobijan bajo el paraguas 4.0, y de las consecuencias de creer en un determinismo tecnológico unidireccional que identifica la tecnología como el agente causal principal de las transformaciones sociales que vivimos, el cambio tecnológico digital es una realidad ya consolidada en nuestro sistema económico. El artículo del profesor Torrent nos aproxima a cómo el tejido productivo queda impactado por esta nueva generación de tecnologías. A pesar de que su investigación está limitada por las dificultades para disponer de información estadística *ad hoc* hacia las tecnologías 4.0, los resultados nos apuntan que su uso puede tener efectos de complementariedad tecnológica que favorezcan mejoras de eficiencia y de resultados empresariales. Ciertamente, las empresas de mayor dimensión y de actividades más intensivas de conocimiento probablemente sean también las más activas en la incorporación de estas tecnologías en la economía española y, por lo tanto, las más beneficiadas por su uso estratégico, pero las ventajas reveladas en generación de valor y de posición competitiva parecen bastante evidentes. Poco más de una cuarta parte de empresas hacen, sin embargo, un uso intensivo de ellas.

Dos artículos nos permiten adentrarnos en las consecuencias en el mercado laboral. Por un lado, el estudio de la nueva ocupación creada en España nos evidencia que el impacto del uso de las tecnologías emergentes está estrechamente influido por las características del modelo productivo dominante. El sesgo en las oportunidades de ocupación en función del nivel de cualificaciones se confirma, si bien la incapacidad para ofrecer puestos de trabajo adecuados a los conocimientos adquiridos por la oferta laboral genera un desajuste creciente en relación con las habilidades requeridas por la demanda de trabajo. Se continúan solicitando mayoritariamente habilidades de naturaleza básica o poco compleja, probablemente para desarrollar tareas esencialmente rutinarias (pero no repetitivas) en muchas de las ocupaciones creadas. En estos casos, aumenta el riesgo de polarización en el mercado laboral y el temor a un progresivo descenso de la prima salarial en la educación. Si, en estas circunstancias, la presión del cambio tecnológico todavía es poco percibida en España probablemente sea por las pésimas condiciones laborales de muchas de las nuevas ocupaciones creadas en el sector terciario. El riesgo de precarización no es negligible.

Por otro lado, la investigación de los profesores Tuset y Pi incorpora la dimensión de los determinantes de la adopción de las tecnologías digitales en el análisis y reflexiona sobre los cambios en los perfiles profesionales que se derivan de ella. La aplicación de las tecnologías emergentes a la producción modifica sensiblemente los conocimientos y las habilidades requeridas en los puestos de trabajo. Los autores nos apuntan que el reto de la adopción de la tecnología no radica tanto en su novedad, sino en la capacidad para saber combinarlas adecuadamente. Indican que, en la medida que muchas tecnologías identificadas como 4.0 han llegado de manera simultánea a su nivel de madurez, se abren varios escenarios que permitirían combinaciones favorables de carácter transformador. Nos advierten, sin embargo, de la necesidad de una adecuada exploración y evaluación previa para finalmente triunfar en la obtención de sus beneficios potenciales. La reflexión estratégica adecuada probablemente exige levantar la vista más allá de la vorágine de oportunidades tecnológicas que constantemente emergen. El artículo proporciona hojas de ruta y herramientas de diagnóstico de gran utilidad que facilitan la toma de estas decisiones estratégicas y un mapeo de los perfiles profesionales más requeridos y de las necesidades de formación más demandadas en el marco de la industria 4.0. La reivindicación de la formación continua emerge como vía más importante para mitigar el desajuste existente en el mercado laboral en cuanto a los perfiles profesionales.

También es importante asumir que el impacto de las tecnologías emergentes va más allá del sistema productivo. Los dos últimos artículos de este monográfico se centran en algunas instituciones capitales de la sociedad. En el caso del artículo del profesor Cerrillo, se presenta una reflexión muy interesante sobre la incidencia del uso de la inteligencia artificial en las administraciones públicas. Si bien su nivel de penetración es más lento que en el tejido empresarial, sus efectos pueden ser nada despreciables. Por un lado, favorecer un mejor análisis de la extensa cantidad de datos y de información disponible para el sector público, lo que debería contribuir a una mejor calidad en la toma de decisiones por parte de los responsables principales de las diferentes administraciones. Por el otro,

ofrecer una mayor eficiencia y a la vez eficacia en la implementación de las políticas públicas y, en particular, de la prestación directa de servicios. Es un reto de primer orden para nuestras administraciones que tiene distintas dimensiones, relacionadas con consideraciones éticas y de garantía de derechos y de responsabilidades, y que debería conducir hacia un nuevo modelo de gestión pública, más rápida y efectiva, basada en la denominada gobernanza inteligente.

Finalmente, el artículo del profesor Martínez nos muestra la influencia que la inteligencia artificial puede tener en el ámbito de la justicia. Si los adelantos científicos y tecnológicos han permitido a las sociedades beneficiarse de mejoras en muchos ámbitos relacionados con las actividades humanas, sería necesario reflexionar sobre los límites y las repercusiones potenciales del uso de las tecnologías 4.0 en la aplicación judicial del Derecho. El trabajo nos permite divisar si estamos lejos del concepto de juez artificial, y comprender mejor las consecuencias de la automatización en la aplicación del Derecho. El autor nos presenta algunos ejemplos recientes y reveladores de la implementación de las tecnologías emergentes en este ámbito, y finalmente nos sitúa ante la comprensión del carácter instrumental de las decisiones judiciales como método para aplicar el Derecho más que para impartir justicia. Precisamente, los adelantos tecnológicos a menudo nos facilitan y mejoran la realización de los trabajos de naturaleza instrumental y mecánica. La importancia de la consideración de la capacidad de reflexión y de juicio, o la interpretación jurídica se convertirían en esenciales en el caso de la automatización judicial. De este modo, el artículo concluye con una relación de aspectos favorables y a la vez de riesgos (o elementos a tener en consideración) relacionados con la implementación de la tecnología artificial en el poder judicial.

Isaac Asimov afirmaba que el aspecto más triste de la vida actual era que la ciencia avanzaba en conocimiento más rápidamente de lo que la sociedad ganaba en sabiduría. Confiamos en que con esta edición de la revista hayamos mínimamente contribuido a la difusión de nuevo conocimiento sobre la naturaleza y las consecuencias de una nueva realidad tecnológica que probablemente nos pediría menos ligereza, sopesar más las palabras y un mejor proceder estratégico.

Cita recomendada: LLADÓS, Josep. *Revolución 4.0: ¿progreso o precarización?* *Oikonomics* [en línea]. Noviembre 2019, no. 12, pp. 1-4. ISSN: 2339-9546. DOI: <https://doi.org/10.7238/o.n12.1908>



Josep Lladós

jlladosm@uoc.edu

Profesor agregado de los Estudios de Economía y Empresa de la UOC

Josep Lladós es licenciado y doctor en Ciencias Económicas y Empresariales, profesor agregado de los Estudios de Economía y Empresa de la UOC, director del programa interuniversitario del Doctorado en Administración y Dirección de Empresas, e investigador del grupo de investigación DigiBiz (<http://transfer.rdi.uoc.edu/es/grupo/digital-business-research-group>). Su área de conocimiento es la economía aplicada, y focaliza su actividad de investigación principalmente en los ámbitos de la economía internacional, la geografía económica y los procesos de innovación empresarial.

Los textos publicados en esta revista están sujetos –si no se indica lo contrario– a una licencia de Reconocimiento 4.0 Internacional de Creative Commons. Puede copiarlos, distribuirlos, comunicarlos públicamente, hacer obras derivadas siempre que reconozca los créditos de las obras (autoría, nombre de la revista, institución editora) de la manera especificada por los autores o por la revista. La licencia completa se puede consultar en https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES.



OIKONOMICS

Revista de economía, empresa y sociedad

**Dossier: «Revolución 4.0: ¿progreso
o precarización?»
coordinado por Josep Lladós**

DOSSIER OIKONOMICS

N.º 2, noviembre 2014

«Redes sociales, economía y empresa»

coordinado por Oriol Miralbell Izard

N.º 3, mayo 2015

«Realidades y desafíos de la Unión Europea»

coordinado por Albert Puig Gómez

N.º 4, noviembre 2015

«Prevención de riesgos laborales: tendencias en tiempo de crisis»

coordinado por Xavier Baraza Sánchez y Mar Sabadell i Bosch

N.º 5, mayo 2016

«Repensando la enseñanza de la economía en la universidad»

coordinado por Carolina Hintzmann

N.º 6, noviembre de 2016

«Economía social y solidaria: experiencias y retos»

coordinado por August Corrons

N.º 7, mayo de 2017

«Claves para entender el turismo de hoy»

coordinado por Francesc González y Soledad Morales

N.º 8, noviembre de 2017

«Dirigir personas para transformar las organizaciones en tiempos de incertidumbre»

coordinado por Pilar Ficapal-Cusí

N.º 9, mayo de 2018

«Logística y cadena de suministro en la nueva era digital

coordinado por Marta Viu

N.º 10, noviembre de 2018

«El futuro de las finanzas: ética, tecnología y globalización»

coordinado por Joan Llobet

N.º 11, noviembre de 2018

«Marketing digital: revolucionando el consumo y la sociedad»

coordinado por Irene Esteban Millat

Dossier «Revolución 4.0: ¿progreso o precarización?»

Coordinador: Josep Lladós

UN TÉRMINO CON DEFICIENCIAS Y EFECTOS IDEOLÓGICOS

Revoluciones industriales: un concepto espurio

Eduard Aibar

Catedrático de estudios de ciencia y tecnología en los Estudios de Artes y Humanidades. UOC

RESUMEN Este artículo analiza el concepto de revolución industrial desde sus orígenes, a finales del siglo XIX, hasta la actual efervescencia alrededor de una supuesta Cuarta Revolución Industrial. A pesar de ser una idea fuertemente fijada en el imaginario cultural occidental y también en el terreno académico, numerosos estudios historiográficos, económicos y sociológicos llevados a cabo en las últimas décadas lo han cuestionado profundamente. En este artículo exploraremos, por un lado, sus deficiencias más notorias –que para muchos lo convierten en un concepto espurio, cargado de supuestos erróneos y de una visión obsoleta del desarrollo tecnológico– y, por el otro, algunos de los efectos ideológicos y políticos de su uso.

PALABRAS CLAVE revolución industrial; cambio tecnológico; determinismo tecnológico; neutralidad; autonomía de la tecnología.

Industrial revolutions: a spurious concept

ABSTRACT This article analyses the concept of industrial revolution, from its origins at the end of the 19th century up to the current excitement surrounding a supposed Fourth Industrial Revolution. Despite being an idea that is firmly embedded in the Western cultural imagination and in the field of academics, numerous historiographic, economic and sociological studies carried out in recent decades have deeply questioned it. In this article we will explore, on the one hand, its most widely-known deficiencies – which for many make it a spurious concept, loaded with erroneous suppositions and an obsolete vision of technological development – and, on the other, some of the ideological and political effects of its use.

KEYWORDS industrial revolution; technological change; technological determinism; neutrality; autonomy technology

El término revolución proviene del vocablo latino *revolutio*, que durante la edad media se utilizaba para referirse al movimiento circular de los astros. Todavía durante el Renacimiento, en el año 1543, Nicolás Copérnico tituló la célebre obra donde exponía su modelo heliocéntrico, fundamento de la astronomía moderna, *Sobre las revoluciones de las esferas celestes*.

Su uso más habitual en la actualidad, es decir, el que se refiere a transformaciones más o menos radicales y repentinas del orden social o político, parece tener el origen en la Inglaterra de finales del xvii, cuando las clases altas se levantaron contra las inclinaciones absolutistas del rey Jaime II, en la que fue conocida como la **Revolución Gloriosa**. Esta nueva acepción del término, sin embargo, fue minoritaria y se restringió a algunos círculos políticos e intelectuales europeos. Fueron los **ilustrados franceses** de mediados del siglo xviii quienes popularizaron el término para describir su movimiento intelectual, básicamente porque querían presentarse a sí mismos como subvertidores del *Ancien Régime* y como portavoces de un nuevo orden y de una nueva manera de ver el mundo basado en la razón y los nuevos saberes. Es a partir de entonces cuando el sentido más explícitamente político del término empezó a aplicarse generalizadamente a las revoluciones burguesas americana (1775-1783), en primer lugar, y francesa (1789-1799), posteriormente.

Mientras que el concepto medieval y astronómico hacía referencia a un movimiento circular y repetitivo y, por lo tanto, connotaba un cambio cíclico y periódico que, al fin y al cabo, dejaba las cosas tal como estaban, el sentido moderno indica precisamente lo contrario: un **cambio radical e irreversible** que comienza un periodo nuevo, una nueva época, en la historia de una sociedad. Las revoluciones, al contrario de lo que ocurre con el movimiento de los planetas alrededor del sol, implican un momento singular de **ruptura** y establecen una frontera temporal clara y abrupta entre el pasado y el futuro. Además, son acontecimientos cataclísmicos, traumáticos, y a menudo violentos, con una cierta coherencia interna a pesar de su complejidad y de la multiplicidad de fuerzas o de agentes sociales que pueden intervenir, y tienen lugar de manera repentina y más o menos acotada en el tiempo y el espacio.

1. La Primera Revolución Industrial

El término *revolución industrial* se empezó a utilizar a principios del siglo xix para referirse a lo que hoy denominamos la Primera Revolución Industrial, un episodio de cambio tecnológico y social que tuvo lugar originariamente en Inglaterra durante el periodo 1760-1840, aproximadamente. El economista francés Jérôme Adolphe Blanqui (1798-1854) fue uno de los primeros autores en utilizar sistemáticamente el término en el sentido actual vinculado al cambio tecnológico. En concreto, Blanqui se interesaba especialmente por las **consecuencias sociales** de las innovaciones técnicas de finales del siglo xviii que, según él, habían dado lugar, en Inglaterra, a una «revolución industrial». Algunos años después, el filósofo alemán Friedrich Engels (1820-1895), cofundador junto con Karl Marx del materialismo dialéctico y del comunismo moderno, utilizó el término con profusión en su obra *Sobre las condiciones de la clase obrera en Inglaterra*, publicada el 1845, en la que a partir de su estancia en Manchester y tras un minucioso estudio social y demográfico, describía con mucho detalle las penosas condiciones de vida de los obreros y sus salarios míseros, y constataba que ambos elementos habían empeorado considerablemente comparándolos con la situación de los trabajadores agrícolas y ganaderos de la época. En esencia, Engels entendía la Revolución Industrial como la conjunción entre las innovaciones en el ámbito textil y la máquina de vapor.

La obra de Engels no fue traducida al inglés hasta finales del siglo xix, y fue de hecho el historiador económico Arnold Toynbee (1852-1883) quien popularizó el término en Inglaterra en una serie de conferencias celebradas en 1881 y publicadas después, póstumamente. No hay constancia de que Toynbee conociera la obra de Engels, y en todo caso no compartía ciertamente su punto de vista marxista, pero es remarcable que ambos autores pusieran el énfasis en las consecuencias desastrosas y calamitosas que la Revolución Industrial había tenido para la mayor parte de la población británica. La Revolución Industrial era casi un sinónimo de **catástrofe social** para estos autores.

En todo caso, la tesis de que existió una verdadera revolución industrial, en los términos modernos que hemos descrito (acontecimiento repentino, irreversible, rompedor con el pasado y acotado en el tiempo y en el espacio),

fue ampliamente aceptada durante el siglo xx por muchos académicos –principalmente historiadores sociales, económicos y de la tecnología– hasta convertirse durante la segunda mitad del siglo en una idea firmemente fijada en nuestro imaginario cultural occidental. Progresivamente se fueron añadiendo, además, otras revoluciones tecnológicas anteriores y posteriores. Muy pronto, la Revolución Industrial se desdobló en la **Primera** y en la **Segunda**, esta última comprendida entre 1870 y 1914, y caracterizada por el inicio de la electrificación, el motor de combustión interna, diferentes tecnologías de comunicación (telégrafo, radio y teléfono) y una larga lista de nuevos materiales. La tercera, más conocida como la **Revolución Digital**, empieza a finales de los cincuenta y está vinculada a las tecnologías de base microelectrónica, y la cuarta, bautizada así recientemente, está asociada a la robótica, la inteligencia artificial, la nanotecnología y la biotecnología, y no tiene todavía una definición temporal muy clara. Además de estas, también han sido identificadas varias revoluciones tecnológicas en el entorno agrícola preindustrial, incluso durante el neolítico y, por supuesto, la alabada **Revolución Científica** del siglo xvii.

2. El mito de la Revolución Científica

A pesar de que la revolución científica queda fuera del alcance de este trabajo, es sintomático cómo ha variado en las últimas décadas, a medida que muchos autores han profundizado en su estudio, nuestra comprensión de este fenómeno histórico que ha merecido tanta atención durante el siglo xx y que ha representado uno de los pilares centrales de la modernidad según las caracterizaciones estándar. La concepción contemporánea de la revolución científica se fraguó especialmente durante la década de los años treinta del siglo pasado, cuando historiadores de la ciencia como Alexandre Koyré, Herbert Butterfield o Alfred Hall agruparon toda una serie de innovaciones en las técnicas y en la **filosofía natural** de los siglos xvi y xvii bajo la etiqueta de «revolución científica», y con un conjunto de características supuestamente comunes como la **matematización de la naturaleza** o el **método científico**, pensados en gran medida desde la filosofía de la ciencia. Durante la década de los sesenta, esta historiografía tradicional quedó todavía más legitimada con el concepto epistemológico de *revolución científica* introducido por Thomas Kuhn en su influyente obra *La estructura de las revoluciones científicas* (1962).

Aun así, la trayectoria del concepto ha tomado un nuevo rumbo en las últimas décadas. A modo de ejemplo, el prestigioso historiador y sociólogo de la ciencia Steven Shapin empieza su conocida obra *The Scientific Revolution* (2018) con la siguiente afirmación, a primera vista bastante desconcertante: «*There was no such thing as the Scientific Revolution, and this is a book about it*» (Shapin, 2018, 1). El argumento de Shapin, presentado de manera muy sintética, se basa principalmente en dos hechos actualmente incontestables desde un punto de vista historiográfico; por un lado, no hubo ningún acontecimiento singular y discreto, bien acotado en el tiempo y en el espacio, que corresponda a «la» revolución científica, y, por otro, durante el siglo xvii no existía ninguna entidad cultural coherente llamada «ciencia» que pudiera, por lo tanto, ser objeto de un cambio revolucionario. De hecho, ni siquiera existía el término *científico*, que fue acuñado por William Whewell (1794–1866) en 1833.

El punto de vista de Shapin sobre la revolución científica no es una opinión extravagante, más bien al contrario, lo comparten la mayor parte de estudiosos actuales en ámbitos como la historia y la sociología de la ciencia que no solo han cuestionado las concepciones tradicionales en que se basa –como por ejemplo la existencia de un supuesto método científico compartido por todas las ciencias–, sino que han puesto en entredicho la existencia misma de la revolución científica.

3. La crisis del concepto de revolución industrial

Lo que ha sucedido con el concepto de *revolución científica* presenta un gran paralelismo con el caso de la *revolución industrial*. Historiadores económicos tan reputados como Patrick O'Brien o Jan de Vries califican directamente la revolución industrial como una «denominación errónea», un «mito», o una más de una larga lista de «revoluciones espurias» (O'Brien y Quinault 1992; de Vries 2009). Los motivos fundamentales de esta crisis, como en

el caso de la revolución científica, son una larga serie de hallazgos recientes en los muchos y minuciosos estudios históricos llevados a cabo en las últimas décadas que cuestionan la visión tradicional de este periodo, de las que han sido, supuestamente, sus características principales e, incluso, del alcance de sus implicaciones sociales.

En primer lugar, algunas de las transformaciones que a menudo se asocian a la Revolución Industrial son, de hecho, anteriores a ella: la también llamada **revolución agrícola británica** tuvo lugar desde finales del siglo xvii y supuso un aumento sin precedentes de la producción y de la productividad en el campo y, por lo tanto, en el suministro de alimentos; y la red de conexiones entre ciudades (mediante el transporte y los vínculos comerciales) era también notoria en el periodo anterior. Como pasó en el caso del Renacimiento respecto a la edad media, este tipo de mitos históricos operan siempre construyendo un fuerte contraste, en realidad ficticio, entre el pasado, en este caso rural, sin crecimiento económico, socialmente estático y con una estructura urbana débil y poco conectada, y un futuro industrial con las características inversas.

Por otro lado, la imagen convencional de la Revolución Industrial está fuertemente asociada a una innovación tecnológica concreta: la **máquina de vapor**. Se trata, de hecho, de un patrón recurrente en las narrativas tecnorevolucionarias: la Tercera Revolución Industrial, por ejemplo, también se asocia análogamente al **circuito integrado** (el chip, como hoy lo denominamos), precedente directo de los microprocesadores que actualmente controlan ordenadores y teléfonos móviles. Pero la realidad es que el periodo de la Revolución Industrial está plagado de innovaciones técnicas en muchos ámbitos diferentes: desde el telar mecánico, el proceso para obtener carbón de coque (que sustituyó al carbón vegetal) y varios procesos para la obtención más eficiente de hierro, hasta las primeras máquinas herramienta como la fresadora. Hoy sabemos que el ahorro económico que supusieron las máquinas de vapor fue, en realidad, bastante modesto (von Tunzelmann, 1977). La mitología revolucionaria acostumbra, sin embargo, a identificar innovaciones singulares (como causa simple) que producen grandes efectos generalizados o universales (como consecuencia compleja).

Otro aspecto discutido de la Revolución Industrial es su acotación temporal. Las diversas caracterizaciones existentes no han conseguido un acuerdo claro sobre este extremo. Lo mismo ocurre, de hecho, con la Segunda y la Tercera Revolución Industrial. En gran parte, estas discrepancias son el resultado de dos supuestos erróneos de la concepción tradicional de la tecnología; por un lado, la confusión entre *innovación* y *uso* –con la preferencia casi hegemónica para destacar la primera– y la supuesta concatenación mecanicista entre innovaciones técnicas y efectos sociales. La Segunda Revolución Industrial, por ejemplo, estuvo caracterizada por la extensión del uso de tecnologías que ya se conocían antes, como las máquinas herramienta, las piezas intercambiables o el proceso Bessemer para producir acero. Las nuevas industrias basadas en las nuevas ciencias del siglo xix, que se consideran distintivas de la Segunda Revolución, eran en realidad pequeñas en comparación con las «antiguas» y, de hecho, su máximo histórico se produjo después de la Segunda Guerra Mundial. El proceso de sustitución de las antiguas ruedas hidráulicas por máquinas de vapor durante la Primera Revolución duró casi un siglo, y estuvo lejos de ser un proceso repentino o vertiginoso (Basalla y Rubio, 1991). El pico en el consumo de carbón en el Reino Unido, que habitualmente se asocia también a la Primera Revolución Industrial, se produjo, de hecho, ¡durante la década de 1950! (Edgerton, 2004). Normalmente el mayor impacto social y económico de una tecnología se produce en el momento de su máxima difusión, y esto acostumbra a suceder mucho después de su invención.

De hecho, algunas de las transformaciones más importantes durante la segunda revolución no fueron de índole tecnológica en sentido estrictamente artefactual; tuvieron que ver con las infraestructuras (las redes de electricidad), con las formas de producción (la cadena de montaje) o con los patrones de consumo (nació una verdadera **sociedad de consumo**, donde los individuos ya no solo trabajaban para satisfacer sus necesidades básicas) (de Vries, 2009).

4. Liberalismo, capitalismo y colonialismo

Durante los años cincuenta y sesenta del siglo xx, una serie de autores británicos movidos, en parte, por una fuerte pulsión liberal y antimarxista y, en parte, por un cierto fervor «tecnonacionalista», empezaron una campaña sistemática para rescatar el concepto de *revolución industrial* de las connotaciones negativas (socialmente ca-

tastróficas, más bien), que autores como Engels y Toynbee le habían asociado, para presentarla como un hito histórico en el desarrollo del Reino Unido y, por extensión, de la historia humana. Esta estrategia sintonizó perfectamente con ciertas tendencias intelectuales y políticas conservadoras que culminarían más tarde en los gobiernos neoliberales de Thatcher, y con una creciente consideración de la innovación tecnológica como eje básico del crecimiento económico, una creencia que también empezaba a arraigar entre la izquierda. Dicho de una manera simplista, la nueva narrativa defendía que el **individualismo** de John Locke más la **economía de libre mercado** de Adam Smith habían producido la Revolución Industrial y, paralelamente, las revoluciones políticas que habían instaurado la **democracia** en el Reino Unido, los Estados Unidos y Francia; es decir, en resumen, la esencia del **capitalismo liberal** (Coleman, 1992, 34).

Esta nueva perspectiva, que acabó conformando el mito popular actual de la Revolución Industrial, se basó en parte en una revisión de las consecuencias sociales catastrofistas ya mencionadas. Algunos autores defendieron, por ejemplo, que los principales efectos sociales de la Revolución Industrial fueron un aumento enorme de la productividad y una consiguiente mejora sostenida y sin precedentes en las condiciones de vida de la población. Aun así, los estudios más recientes muestran como el aumento del nivel de vida no se produjo en los países industrializados hasta finales del siglo XIX y principios del XX, y que, a corto y medio plazo, las condiciones de vida empeoraron (Feinstein, 1998).

Otro aspecto que debe ponerse de manifiesto es el profundo **etnocentrismo** que rodea al concepto. En primer lugar, la Revolución Industrial fue un fenómeno claramente británico que, durante mucho tiempo y todavía ahora en menor medida, fue conocida como la **Revolución Industrial británica**; incluso muchos autores situaban el origen de la revolución, todavía con más precisión, en el condado de Lancashire. Durante muchas décadas, de hecho, transformaciones similares solo tuvieron lugar en pocas naciones del planeta, en una pequeña parte de Europa (los países con grandes imperios coloniales) y en los EE. UU., fundamentalmente. Las concepciones posteriores, sin embargo, consideraron el fenómeno bajo el esquema de un tipo de destino universal, inexorable, y muy pronto las sociedades y las naciones de todo el planeta fueron clasificadas en función de su grado de acercamiento a la industrialización de estos pocos estados: países **desarrollados, en vías de desarrollo o subdesarrollados**. Incluso se propusieron argumentos etnocéntricos para explicar el «retraso» de otros países (notoriamente, China) sobre la base de la superioridad cultural, política y científica de Europa. En general, el etnocentrismo asociado al concepto de *revolución industrial* ha provocado que, hasta hace poco, los vínculos notorios entre el **colonialismo** y la industrialización fueran a menudo obviados; no solo las colonias proveyeron a la metrópolis de gran parte de las materias primas, sino que la Revolución Industrial incrementó considerablemente el alcance y la intensidad de la empresa colonial.

Por último, muchos de los problemas y de las reticencias que el concepto de *revolución industrial* ha generado en los últimos años tienen relación con el descrédito actual de la idea de progreso asociada de forma **automática**, durante buena parte del siglo XX, al **desarrollo tecnológico** y al **crecimiento económico**. No solo se han hecho patentes los efectos ambientales catastróficos de la Revolución Industrial, principalmente debido a las emisiones de CO₂ y el consecuente cambio climático, que empieza a tener efectos sociales devastadores, sino que el crecimiento económico que se ha vinculado se ha traducido en un aumento sostenido de las desigualdades sociales y económicas en la mayor parte de países desde finales del siglo XIX hasta ahora. Es en este contexto que el concepto mismo de *ilustración* ha sido revisado para separar dos componentes que durante mucho tiempo han parecido complementarios: por un lado, un **proyecto emancipador** de enfrentamiento a la autoridad, de insumisión al poder y de combate contra la credulidad y, por el otro, el **proyecto modernizador** entendido como dominio y explotación de la naturaleza mediante la ciencia y la tecnología (y a su instrumentalización en el capitalismo industrial) y como sumisión de la mayor parte de culturas y pueblos del planeta, mediante el colonialismo (Garcés, 2017).

5. Determinismo tecnológico y autonomía de la tecnología

La mayor parte de los discursos alrededor de la Revolución Industrial o, en general, de las revoluciones tecnológicas, se apoyan en formas más o menos explícitas de **determinismo tecnológico**: la idea de que la tecnología constituye el **agente causal** singular más importante en los cambios sociales a lo largo de la historia, y la tesis de que el cambio tecnológico determina el cambio social o, dicho de otro modo, que la tecnología es, sencillamente, el motor de la historia. El determinismo tecnológico se asocia a menudo a la llamada **autonomía de la tecnología**, la idea de que la tecnología sigue su propio curso al margen de la intervención humana o social y que se desarrolla, fundamentalmente, de manera incontrolada. Autores con orientaciones tan diferentes como Jacques Ellul, John Kenneth Galbraith, Martin Heidegger, Marshall McLuhan o Alvin Toffler se muestran de acuerdo con que la tecnología se desarrolla según sus propias leyes inexorables, siguiendo una lógica particular que siempre acaba imponiéndose a cualquier intento de control humano (Winner, 1979).

La perspectiva determinista se caracteriza por considerar la relación entre tecnología y sociedad como **unidireccional**. Mientras que la evolución de la sociedad (en sus aspectos económicos, políticos o culturales) es consecuencia del desarrollo tecnológico, la tecnología parece surgir de un ámbito externo al medio social; es un factor **exógeno** con una dinámica propia que no resulta afectada, en lo esencial, por factores sociales (de hecho, en esta visión, la tecnología se considera políticamente **neutral**). El desarrollo tecnológico se entiende así, teleológicamente, como una sucesión encadenada de invenciones o de innovaciones en las que cada eslabón conduce casi necesariamente –o naturalmente– al siguiente y donde cada artefacto parece haber sido diseñado con el objetivo de llegar a la situación actual mediante aproximaciones sucesivas.

Las tesis del determinismo tecnológico y de la autonomía de la tecnología han sido fuertemente cuestionadas por una gran cantidad de autores y de estudios en las últimas décadas –desde la historia, la filosofía y la sociología de la tecnología, principalmente– y, actualmente tenemos teorías mucho más fundamentadas sobre la interacción entre cambio social y tecnológico (Aibar, 1996). A pesar de ello, estas tesis continúan siendo la manera más popular e influyente de pensar la relación sociedad/tecnología y fomentan una actitud **fatalista** respecto al cambio tecnológico: dado su carácter inexorable, es inútil intentar oponerse a él o reconducirlo desde la acción social o política; la única opción factible es adaptarnos o, como mucho, atenuar sus efectos negativos.

6. La Cuarta Revolución Industrial

Se atribuye el concepto de **Cuarta Revolución Industrial** al economista alemán Klaus Schwab, fundador del conocido Foro económico mundial (o Foro de Davos), una reunión anual de la élite del capitalismo global, donde líderes empresariales, políticos y académicos celebran el triunfo del neoliberalismo con obscenidad y gran fastuosidad. El vínculo entre el concepto y el foro no es casual, como veremos.

La definición de Schwab no es muy precisa. Menciona elementos como la robótica, la inteligencia artificial, el internet de las cosas o la edición genética –la mayor parte, técnicas originadas hace varias décadas– pero poniendo el énfasis en su interconexión: «the inexorable shift from simple digitization (the Third Industrial Revolution) to innovation based on combinations of technologies (the Fourth Industrial Revolution)» (Schwab, 2017, 52). Lo primero que se debe decir de esta definición es que es idéntica a la que Rifkin (2011) había dado sobre la tercera revolución industrial. Parece pues que, paradójicamente, la nueva revolución nos llevará... ¡donde nos debería haber dejado la anterior!

Aun así, es más importante remarcar la **inexorabilidad** que la definición también asocia a esta revolución. De hecho, la obra de Schwab y la mayoría de los discursos que propagan crédulamente e irreflexivamente su vaticinio constituyen un compendio de todos los problemas, inconsistencias y debilidades del concepto de *revolución industrial* que hemos expuesto: etnocentrismo, determinismo tecnológico, autonomía y neutralidad de la tecnología, fatalismo, equiparación automática entre desarrollo tecnológico y progreso social, etc. Como

particularidad –que también comparte con la tercera– podríamos destacar el **solucionismo tecnológico** (Morozov, 2015) con que se presenta en la mayor parte de formulaciones: la idea de que todos los problemas tienen una solución tecnológica (incluso aquellos causados por la propia tecnología) y, por lo tanto, las empresas tecnológicas y el mercado podrán resolverlos. Pero a pesar del carácter omnipotente que se otorga a esta nueva revolución industrial, algunos de los problemas más graves y urgentes a los que nos enfrentamos –el calentamiento global o la creciente desigualdad social, por ejemplo– no acostumbran a mencionarse entre los objetivos de la cuarta revolución. Como en la **ideología californiana** (Barbrook y Cameron, 1996), que fusiona el determinismo tecnológico con un neoliberalismo extremo, se profesa una fe ciega en la sustitución de la política por la ingeniería.

Pero la característica diferencial más importante de esta revolución es que, por primera vez, se trata de una revolución **premonitoria**: no describe un periodo del pasado, un conjunto de innovaciones conocidas o sus consecuencias sociales. Ni siquiera sabemos quiénes son los actores que llevarán a cabo estas innovaciones, ni cuáles serán sus objetivos. Considerando quién son sus portavoces, no parece que sean otros que las grandes corporaciones tecnológicas que dominan las tecnologías de la comunicación y de la información actuales, o los entramados financieros que las sustentan. El único mensaje que se transmite de manera clara es que habrá ganadores y perdedores. Estos últimos serán los países, las instituciones o los individuos que no sepan adaptarse.

El objetivo parece, pues, doble. En primer lugar, el de convertirse una «profecía que se autocumple» (Unwin, 2019), como ha ocurrido recientemente con la erróneamente llamada ley de Moore, y perpetuar el dominio y la fortuna de las instituciones y de las empresas que ya ahora están creando, configurando e impulsando estas tecnologías. En segundo lugar, extender el miedo y la angustia sobre un futuro incierto mediante un discurso apocalíptico. En resumen, promover la creencia de que una vez más no hay otra opción que la sumisión voluntaria, y que reconfigurar, cambiar o subvertir el desarrollo tecnológico queda fuera de nuestro alcance.

Bibliografía

- AIBAR, E. (1996). «La vida social de las máquinas: orígenes, desarrollo y perspectivas actuales en el estudio social de la tecnología». *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*. Núm. 76, pág. 141-172. http://www.reis.cis.es/REIS/PDF/REIS_076_09.pdf.
<https://doi.org/10.2307/40183990>
- BARBROOK, R.; CAMERON, A. (1996). «The Californian Ideology». *Science as Culture*. Vol. 6, núm. 1, pág. 44-72. <https://doi.org/10.1080/09505439609526455>
- BASALLA, G.; RUBIO, J. V. (1991). *La evolución de la tecnología*. Barcelona: Crítica.
- COLEMAN, D. C. (1992). *Myth, History and the Industrial Revolution*. Londres: A&C Black.
- EDGERTON, D. (2004). «De la innovación al uso: diez tesis eclécticas sobre la historiografía de las técnicas». *Quaderns d'història de l'enginyeria*. Núm. 6, pág. 1-23. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/768/innovacion_uso.pdf?sequence=7
- FEINSTEIN, C. (1998). «Pessimism Perpetuated: Real Wages and the Standard of Living in Britain during and after the Industrial Revolution». *Journal of Economic History*. Vol. 58, núm. 3, pág. 625–658.
<https://doi.org/10.1017/S0022050700021100>
- GARCÉS, M. (2017). *Nova il·lustració radical*. Barcelona: Anagrama.
- KUHN, T. S. (1976). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: FCE.
- MOROZOV, E. (2015). *La locura del solucionismo tecnológico*. Madrid: Katz.
- O'BRIEN, P.; QUINAULT, R. E. (1992). *The Industrial Revolution and British Society*. Cambridge: Cambridge University Press.
- RIFKIN, J. (2011). *La tercera revolución industrial*. Barcelona: Paidós.
- SCHWAB, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. Redfern: Currency.

SHAPIN, S. (2018). *The Scientific Revolution*. Chicago: University of Chicago Press.

<https://doi.org/10.7208/chicago/9780226398488.001.0001>

TUNZELMANN, N. von (1977). *Steampower and industrialisation*. Oxford: Oxford University Press.

UNWIN, T. (2019). «Why the notion of a Fourth Industrial Revolution is so problematic». *Tim Unwin's Blog*.

[Fecha de consulta: 23 de agosto de 2019]. <https://unwin.wordpress.com/2019/03/09/why-the-notion-of-a-fourth-industrial-revolution-is-so-problematic/>

VRIES J. de (2009). *La revolución industrial*. Barcelona: Crítica.

WINNER, L. (1979). *Tecnología autónoma*. Barcelona: Gustavo Gili.

Cita recomendada: AIBAR, Eduard. *Revoluciones industriales: un concepto espurio*. *Oikonomics* [en línea]. Noviembre 2019, no. 12, pp. 1-8. ISSN: 2339-9546. DOI: <https://doi.org/10.7238/o.n12.1909>



Eduard Aibar

eaibar@uoc.edu

Catedrático de estudios de ciencia y tecnología en los Estudios de Artes y Humanidades de la UOC

Eduard Aibar es catedrático de estudios de ciencia y tecnología (Science & Technology Studies, STS) en los Estudios de Artes y Humanidades de la UOC y director del grupo de investigación sobre Ciencia e Innovación Abiertas (OSI). Imparte docencia en los grados de Humanidades, Ciencias Sociales y Antropología y en los másteres de Historia Contemporánea y de Filosofía para los Retos Contemporáneos de la UOC, así como en el Doctorado en Sociedad de la Información y el Conocimiento. Ha sido profesor asociado en la Universidad de Barcelona, investigador postdoctoral en la Universidad de Maastricht (Países Bajos) y en la Universidad de Salamanca. Ha publicado numerosos trabajos sobre la interacción entre el desarrollo científicotecnológico y el cambio social y organizativo en ámbitos como la administración electrónica, el urbanismo o internet. Más información en <https://www.uoc.edu/webs/eaibar>.

Los textos publicados en esta revista están sujetos –si no se indica lo contrario– a una licencia de Reconocimiento 4.0 Internacional de Creative Commons. Puede copiarlos, distribuirlos, comunicarlos públicamente, hacer obras derivadas siempre que reconozca los créditos de las obras (autoría, nombre de la revista, institución editora) de la manera especificada por los autores o por la revista. La licencia completa se puede consultar en https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES.



Dossier «Revolución 4.0: ¿progreso o precarización?»

Coordinador: Josep Lladós

PROCESOS DE GENERACIÓN DE VALOR

Industria 4.0 y resultados empresariales en España: un primer escaneado

Joan Torrent-Sellens

Catedrático de economía de los Estudios de Economía y Empresa (UOC)

RESUMEN Este artículo analiza la relación entre los usos de las tecnologías de la industria 4.0 (I4.0), la generación de valor y los resultados empresariales. Mediante una muestra de 1.525 empresas industriales españolas en 2014, se identifican los usos de cuatro tecnologías básicas de la I4.0: 1) diseño industrial asistido por computadora, CAD; 2) robótica; 3) sistemas flexibles de producción; y 4) hardware y software de control numérico de la actividad–, se construye un indicador aditivo y se estudia la asociación estadística con la generación de valor y los resultados de la empresa. La investigación ha obtenido tres resultados principales. En primer lugar, cabe destacar su estado incipiente; un 72,5% de las empresas industriales españolas o bien no utiliza, o bien utiliza muy moderadamente las tecnologías identificadas de la I4.0. Sin embargo, y en segundo lugar, debe señalarse que los usos de estas tecnologías se asocian a un proceso de generación de valor de la empresa industrial más intensivo en I+D y en capital humano, más innovador, más digital y más sostenible. En tercer lugar, la investigación también concluye que las empresas con unos usos más intensivos de las tecnologías I4.0 presentan mejores resultados en términos de ventas, valor añadido, exportaciones y margen bruto de explotación. Especialmente relevantes son los resultados de la productividad y del empleo. Las empresas industriales intensivas en usos de las tecnologías I4.0 son un 30% más eficientes que las empresas que no usan estas tecnologías. También son capaces de ocupar a un número mucho mayor de empleados (el doble de la media industrial) y de retribuirlos mucho mejor (12,4% por encima de la media industrial). Por último, en el artículo también se discute el papel que la I4.0 podría tener como nueva tecnología de propósito general.

PALABRAS CLAVE Industria 4.0; digitalización; robótica; manufactura inteligente; empresa industrial; productividad; España.

Industry 4.0 and firm performance in Spain: a first scan

ABSTRACT This article analyses the relationship between the uses of Industry 4.0 technologies (I4.0), the value generation and firm results. Based on a sample of 1,525 Spanish industrial firms for 2014, the uses of four basic I4.0 technologies are identified: 1) computer-aided industrial design (CAD); 2) robotics; 3) flexible production systems; and 4) the activity's numerical control machinery

and software, an additional indicator is constructed and the statistical association with the value generation and firm results are studied. The research has obtained three main results. First of all, it is worth noting its incipience. 72.5% of Spanish industrial firms either do not use or use very moderately the I4.0 technologies. Despite of this and secondly, it should be noted that the uses of these technologies are associated with a value generating process in industrial firms which is more intensive in R&D and human capital, more innovative, more digital and more sustainable. And, thirdly, the research also concludes that firms with more intensive uses of I4.0 technologies have better results in terms of sales, value added, exports and gross operating margin. Productivity and employment results are especially relevant. I4.0 intensive industrial firms are 30% more efficient than firms that do not use these technologies. They are also able to take on a much larger number of employees (twice the industrial average) and to pay them much better (12.4% above the industrial average). Finally, the article also discusses the role that I4.0 could play as a new general purpose technology.

KEYWORDS *industry 4.0; digitisation, robotics; smart manufacturing; industrial firm; productivity; Spain*

Introducción

Habitualmente, desde la economía entendemos la tecnología como el fondo social de conocimiento sobre las artes industriales. Es decir, todo el conjunto de saberes, no únicamente los científicos y los tecnológicos (saber-qué y saber-por qué) y particularmente las habilidades de los agentes económicos y de las organizaciones (saber-cómo y saber-quié), que inciden sobre la actividad económica. Por consiguiente, nos aproximamos a la tecnología a partir del conocimiento que genera todo conjunto de instrumentos, máquinas o técnicas para la acción instrumental (Torrent-Sellens, 2004). Las tecnologías de propósito o de utilidad general (*general purpose technologies*, GPT) son familias de saber aplicado de orden superior, en el sentido que derivan en aplicaciones tecnológicas más específicas y de orden inferior. Por ejemplo, las tecnologías vinculadas con la máquina de vapor, la electricidad, el motor de combustión interna o el ordenador se consideran tecnologías de utilidad general, porque mediante su capacidad de conexión (plataforma) con otras tecnologías configuran procesos de convergencia tecnológica, innovaciones derivadas, complementariedades con otros activos económicos, como por ejemplo con la inversión en intangibles y, finalmente, nuevos modelos de negocio, nuevas fuentes de eficiencia y nuevas palancas de crecimiento económico (Bodrozic y Adler, 2018).

A partir de la investigación sobre las revoluciones industriales, es decir, el conjunto de cambios disruptivos en la tecnología (tecnologías de utilidad general) y en la estructura económica (paradigmas técnico-económicos o ciclos económicos de larga duración) que se interconectan con cambios sociales y culturales de primer orden, los economistas hemos aprendido una lección significativa. En cada una de las tres revoluciones industriales que se han evidenciado hasta el momento, un factor o un conjunto de factores productivos se consolidan como fuentes del crecimiento económico, del cambio competencial del empleo y de la estructura social. Estos factores nunca son la tecnología sobre la que se sustenta el cambio económico. Por ejemplo, en la Primera Revolución Industrial, la irrupción de la máquina de vapor consolidó el proceso de sustitución de instrumentos por máquinas, la aparición del trabajo fabril y de los trabajadores industriales urbanos. En la Segunda Revolución Industrial, la electricidad y el motor de combustión interna incentivaron la incorporación del conocimiento científico en la industria, la organización científica, la atomización y la alineación del trabajo, así como los métodos de producción en masa. En la Tercera Revolución Industrial, los avances de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), del internet no interactivo y del comercio electrónico configuraron la era de la información y del conocimiento. En los tres casos, la tecnología determinó mejoras de eficiencia (productividad total de los factores) e, incluso, la aparición de nuevos sectores de actividad. Pero, el efecto multiplicador, la generación de nuevos factores de pro-

ductividad, se alcanza cuando los bienes y los servicios generados por la nueva oleada tecnológica son utilizados por el resto de actividades económicas e interaccionan con los factores productivos, los modelos de negocio, las estructuras de mercado y la organización de la economía.

Durante los últimos años, y a partir de las transformaciones vinculadas con la Tercera Revolución Industrial, una nueva oleada de cambio tecnológico digital y disruptivo ha vuelto a generar transformaciones de calado en el comportamiento, la estructura y los resultados de los agentes económicos, los modelos de negocio y los mercados (Trajtenberg, 2018). La robótica, la inteligencia artificial, el aprendizaje de las máquinas, el aprendizaje profundo, la computación en la nube, los grandes datos, la impresión 3D, el internet de las cosas, los medios y las redes de comunicación social y las plataformas colaborativas, entre otras, parece que se configurarán como una nueva base tecnológica convergente de propósito general y que definirán nuevas fuentes agregadas de productividad y de crecimiento económico (Torrent-Sellens y Díaz-Chao, 2018). A las puertas de la Cuarta Revolución Industrial, la nueva oleada tecnológica también impulsa transformaciones de calado en la actividad industrial, que se revisaran a continuación.

1. Industria 4.0: definición, componentes e implicaciones

La industria 4.0 (en adelante I4.0) es un constructo multidimensional y en constante evolución utilizado para definir el actual proceso de transformación digital en los sistemas manufactureros de producción, que evolucionan hacia procesos más flexibles y hacia una toma de decisiones estratégica y operativa basada en el análisis de datos masivos en tiempo real (Porter y Heppelmann, 2014; Xu *et al.*, 2014). La I4.0 tiene una base tecnológica que interacciona con los sistemas de producción y de organización del trabajo. En función de la relevancia de estas dimensiones, la investigación económica ha realizado diversas aproximaciones. Desde el punto de vista tecnológico, se ha señalado que la I4.0 integra elementos físicos tradicionales (como máquinas o dispositivos de producción) y elementos digitales (como sensores y *software* en red) con el objetivo de generar datos que permitan una gestión empresarial más eficiente. De hecho, estas complementariedades entre los entornos físicos y virtuales sobrepasan el ámbito tecnológico y se extienden hacia el conjunto de elementos de valor y las fuerzas competitivas de la actividad industrial. En este sentido, otras visiones se aproximan a la I4.0 como un modelo de organización y de gestión de la cadena de valor durante el ciclo de vida de los productos o, incluso, como un concepto colectivo que aglutina nuevas tecnologías digitales y nuevas formas de organización de la cadena de valor. Considerando sus complementariedades tecnológicas, estratégicas, organizativas y de producción, la I4.0 se puede interpretar como «un proceso de fabricación integrado, adaptado, optimizado, orientado al servicio e interoperable que se correlaciona con algoritmos, grandes datos y tecnologías elevadas» (Lu, 2017, pág. 3).

La I4.0 tiene un fundamento, una base material, tecnológica. Se basa en la utilización de las tecnologías digitales, especialmente las de segunda oleada, como el internet de las cosas (*Internet of Things*, IoT), internet de los servicios (*Internet of Services*, IoS), la computación en la nube (*cloud computing*), las redes inalámbricas de sensores, o los grandes datos (*big data*) para recopilar datos en tiempo real y analizarlos con el objetivo de generar información útil y mejorar la eficiencia de los sistemas de fabricación (Wang *et al.*, 2016). Esta recopilación y análisis de datos masivos permite la creación de sistemas ciberfísicos (*cyber-physical system*, CPS) que consolidan la tendencia hacia la terciarización de la industria (*services to manufacturing*) y que evolucionan tecnológicamente a los sistemas integrados de producción. Los CPS son «sistemas de entidades computacionales colaborativas que están en conexión intensiva con el entorno físico inmediato y sus procesos de producción, y que, al mismo tiempo, proporcionan y utilizan servicios de acceso y procesamiento de datos disponibles en Internet» (Monostori *et al.*, 2016). Por ejemplo, los controladores de sensores o máquinas de control numérico que intercambian datos masivos mediante terminales informáticos integrados, aplicaciones inalámbricas o computación en la nube. Con los sistemas CPS, las empresas pueden: 1) hacer converger sus entornos físicos y virtuales; 2) mejorar la planificación, análisis, modelización, diseño, implantación y mantenimiento del proceso de fabricación; y 3) aumentar la productividad, fomentar el crecimiento, modificar el rendimiento de la fuerza de trabajo, y producir bienes de más calidad con menos costes por medio de la recopilación y el análisis masivo de datos.

Como resultado de que los CPS: 1) combinan datos e información con productos y factores físicos de producción; 2) monitorizan y crean una copia virtual del mundo físico; y 3) integran la fábrica con todo el ciclo de vida del producto y con las actividades de las cadenas de suministro, las implicaciones para el cambio en las formas de organización del trabajo son más que evidentes. Las posibilidades para la toma autónoma y descentralizada de decisiones, la comunicación y la cooperación entre las tecnologías de la automatización y las personas en tiempo real, y la creciente transición desde los productos hacia los servicios por parte de todos los agentes que participan en las redes de creación de valor demandan nuevas maneras de organizar el trabajo. La I4.0 también implica importantes modificaciones en el rol que desarrollan las personas dentro de los sistemas de producción. Las tareas en las nuevas redes de valor se realizan con enfoques de trabajo inteligente (*smart work*) (Longo et al., 2017). En este sentido, las formas tecnológicas y el trabajo inteligente de la I4.0 reconfiguran los sistemas integrados de producción, que también evolucionan y encajan con la idea de la manufactura avanzada o de la fábrica inteligente (*smart manufacturing*): un nuevo sistema adaptable donde las líneas flexibles ajustan automáticamente los procesos de producción para múltiples tipos de productos y para condiciones cambiantes, lo que mejora la calidad, la productividad y la flexibilidad, al mismo tiempo que ayuda a conseguir productos personalizados a gran escala y de manera más sostenible con menos consumo de recursos (Dalenogare et al., 2018; De Sousa-Jabbour et al., 2018).

Como no podría ser de otra manera, la utilización de tecnologías, trabajo y producción inteligente acaba por configurar una última dimensión de la I4.0: la de los productos inteligentes (*smart products*). Mediante el uso combinado de las tecnologías y de los métodos de producción y trabajo 4.0, estos pueden proporcionar información sobre el desarrollo de nuevos productos/servicios, nuevas soluciones para los clientes o nuevas oportunidades para los proveedores de servicios (Porter y Heppelmann, 2015). Del mismo modo, la integración inteligente de toda la cadena de valor (*smart supply chain*), desde los suministros hasta los distribuidores y los clientes finales, permite a las empresas de la I4.0 la combinación de recursos y la fabricación colaborativa en el sentido de compartir recursos en plataformas industriales, centrarse en sus competencias básicas y desarrollar productos/servicios complementarios con más valor añadido (Zhong et al., 2017; Tao et al., 2018).

Por último, también cabe destacar la dimensión política de la I4.0. La idea de la I4.0 fue presentada por primera vez en la Feria de Hannover en 2011. En 2013 se convirtió en una iniciativa estratégica del gobierno alemán (*Industrie 4.0*) que, en colaboración con universidades y empresas, desarrolla un plan de sistemas avanzados de producción (*High-Tech Strategy 2020*), con el objetivo de aumentar la productividad, la eficiencia y la sostenibilidad de la industria nacional (Kagermann et al., 2013). Muy pronto, planes similares también han sido desarrollados en otros países, como las iniciativas *Advanced Manufacturing Partnership* en EE. UU., *Made in China 2025* en China, la *Nouvelle France Industrielle* en Francia, o *Rumo à Indústria 4.0* en Brasil. Todavía es pronto para una evaluación efectiva de estos programas, pero dan una clara señal de la importancia estratégica que la política pública confiere a la I4.0. Todos estos programas tienen como propósito incentivar los usos de las tecnologías y los sistemas de producción y trabajo 4.0 como punto de partida para la transformación y el renacimiento industrial de sus economías respectivas. El objetivo que se busca es claro: recuperar el peso de la industria como motor económico, y como fuente de eficiencia y creadora de puestos de trabajo de calidad elevada.

2. Tecnologías I4.0 y resultados empresariales: estado del arte

Acabamos de constatar que la I4.0 se puede identificar por medio de cuatro pilares fundamentales: las tecnologías de la segunda oleada digital, las redes de valor y la manufactura inteligente, el trabajo inteligente y los productos inteligentes (Frank et al., 2019). A partir de estos cuatro pilares, a continuación se evaluará la relación entre algunos usos de la I4.0 y los resultados de la empresa industrial en España. Como punto de partida, cabe destacar que la investigación al respecto es más bien escasa. Ya hemos señalado que las tecnologías de la I4.0 son capaces de generar una amplia gama de beneficios para la industria, que van desde la fabricación aditiva, la producción flexible y los productos personalizados (Brettel et al., 2014; Weller et al., 2015), hasta el apoyo y la

adaptación constante de la toma de decisiones (Schuh *et al.*, 2017), la eficiencia en la gestión de los recursos, especialmente los energéticos (Jeschke *et al.*, 2017), o los nuevos modelos de negocio más colaborativos y derivados de la integración horizontal y de las redes de colaboración (Wei *et al.*, 2017).

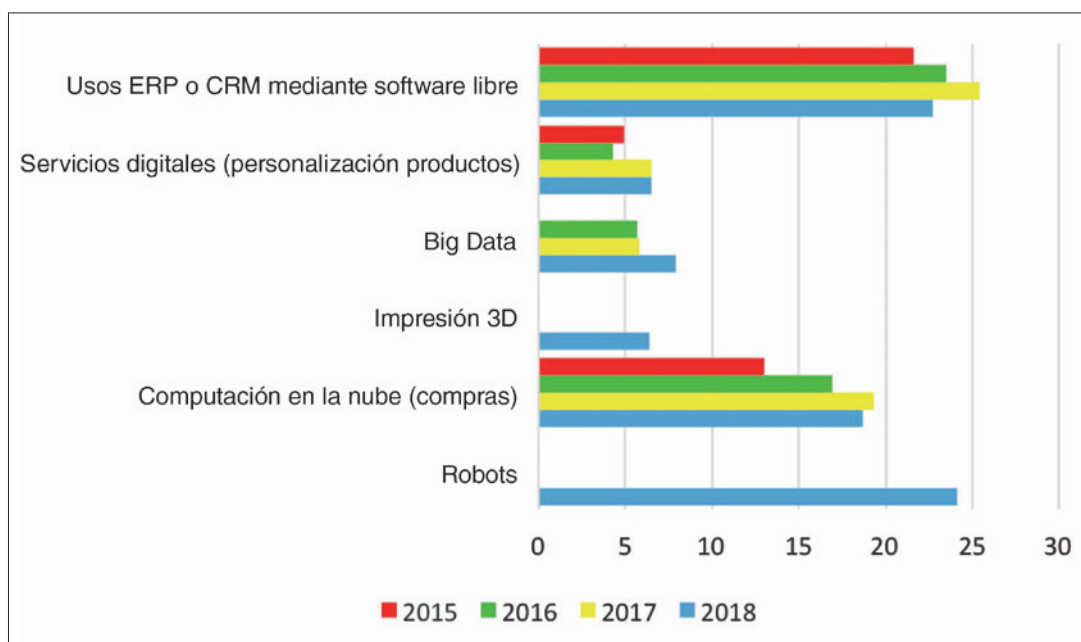
Sin embargo, gran parte de la evidencia disponible está más relacionada con la investigación sobre cómo las tecnologías de la I4.0 modifican el proceso empresarial de generación de valor que con el estudio de los efectos sobre los resultados de las empresas. Básicamente, esto es así por dos razones. En primer lugar, por la falta de información estadística completa sobre los usos empresariales del conjunto de las tecnologías I4.0; y, en segundo lugar, porque, como ya se ha demostrado en otras oleadas del cambio tecnológico digital, el análisis de los efectos de las tecnologías I4.0 sobre los resultados empresariales también debe tener en cuenta las relaciones de complementariedad que se establecen con otros activos de la empresa, especialmente con el capital humano y con las estructuras de organización del trabajo (Díaz-Chao *et al.*, 2015). En otras palabras, un análisis completo de los efectos de la I4.0 sobre los resultados empresariales debería identificar y considerar sus cuatro pilares: tecnología, manufactura y redes, trabajo y productos inteligentes.

Desde esta perspectiva, una investigación pionera (Müller *et al.*, 2018), que ha utilizado una muestra internacional de 814 empresas que han usado tecnologías de *big data* y de análisis masivo de datos en el período 2008-2014, obtiene que los usos de estas tecnologías se asocian con mejoras de productividad situadas entre un 3% y un 7%. Al mismo tiempo, también se concluye que la intensidad tecnológica y la capacidad competitiva del subsector de actividad industrial refuerzan la capacidad de las empresas para mejorar su productividad mediante los activos vinculados con las tecnologías I4.0. De hecho, fuera de los sectores intensivos en tecnología, o con una elevada presión competitiva, los efectos de las tecnologías de *big data* y de análisis masivo de datos sobre la productividad no son significativos.

Ampliando el número de tecnologías 4.0 y el alcance de sus resultados, otra investigación reciente (Dalenogare *et al.*, 2018) contrastada en una amplia muestra de 2.225 empresas industriales en Brasil durante el año 2016, obtiene datos valorativos, identifica los usos para un conjunto de nueve tecnologías: 1) diseño y manufactura asistidos por computadora (CAD/CAM); 2) sistemas integrados de ingeniería; 3) automatización digital, IoT y sensores; 4) líneas de manufactura flexible; 5) sistemas digitales de control de la producción, tipo ERP o MES (*Manufacturing Execution System*); 6) grandes datos (*big data*); 7) productos/servicios digitales; 8) manufactura aditiva y 3D; y 9) servicios de computación en la nube (*cloud*)— y obtiene tres factores de beneficios esperados: 1) para los productos: personalización, calidad y reducción de los tiempos de lanzamiento; 2) para las operaciones: costes operativos, productividad, y visualización y control; y 3) efectos colaterales o secundarios: sostenibilidad y satisfacción de los trabajadores. Sin embargo, los resultados del análisis predictivo son mixtos. Si nos referimos a los beneficios operativos, los sistemas CAD/CAM, la automatización digital y el *big data* predicen efectos operativos positivos, mientras que la manufactura aditiva predice efectos negativos. El resto de tecnologías I4.0 no predice beneficios operativos esperados.

En España, la *Encuesta sobre el uso de TIC y comercio electrónico en las empresas*, elaborada por el INE, proporciona información estadística representativa sobre algunos de los usos de las tecnologías I4.0 (figura 1). A principios de 2018, ninguna de las tecnologías de la I4.0 identificadas llegaba a ser utilizada por más de una quinta parte del tejido industrial, configurado por empresas de más de diez trabajadores. Únicamente la robótica (24,1%), los sistemas digitales de gestión de la actividad (ERP o CRM mediante programas de *software* libre) (22,7%) y los usos (compras de programas) de computación en la nube (18,7%) se acercaban a este registro. En cambio, el análisis de *big data* (7,9% de empresas industriales), los servicios web de personalización de productos inteligentes por parte de los clientes (6,5%) y la impresión 3D (6,4%) tenían una presencia minoritaria entre las empresas industriales españolas.

Figura 1. Usos de las tecnologías I4.0 en España. 2015-2018 (porcentajes de empresas industriales de más de diez trabajadores que usan tecnologías I4.0. Datos del primer trimestre de cada año)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE.

3. Intensidad de uso en tecnologías I4.0 y resultados empresariales en España: primera evidencia

Más allá de su valor descriptivo, los datos anteriores no nos permiten estudiar la relación entre los usos de estas tecnologías y los resultados de la empresa industrial en España. Con la intención de aportar una primera evidencia al respecto, se utilizará una fuente de información alternativa: la *Encuesta sobre Estrategias Empresariales* (ESEE). La ESEE es una encuesta anual, realizada sobre una muestra de unas 1.800 empresas industriales españolas, que elabora la Fundación SEPI, integrada en el Ministerio de Hacienda del Gobierno de España. El cuestionario proporciona información detallada sobre las empresas industriales, especialmente para los ámbitos de la toma estratégica de decisiones (precios, costes, mercados e inversiones) y de la generación interna de valor (estructura empresarial, capital humano, organización, innovación, I+D y usos TIC). Además, también aporta información económica y financiera de los principales indicadores y ratios del balance de situación, así como la cuenta de pérdidas y de ganancias. La encuesta provee datos anuales para el período 1990-2016 (último año disponible) y segmenta la información aportada por dimensión: empresas grandes (más de 200 trabajadores) y pymes (empresas de 10 a 200 trabajadores), y para veinte subsectores de actividad industrial. En este sentido, cabe señalar que se trata de una operación estadística que aporta información representativa y de largo plazo sobre la estrategia, la generación de valor y los resultados económicos y financieros de la empresa industrial, lo que le confiere una gran utilidad para el análisis del conjunto de factores explicativos de la dinámica industrial (Torrent-Sellens, 2018).

Antes de la presentación de los resultados obtenidos, es necesario hacer algunas consideraciones. En primer lugar, la investigación contempla una muestra de 1.525 empresas industriales españolas en el año 2014. En segundo lugar, el análisis se realiza para 2014 porque la información sobre las tecnologías analizadas se obtiene cada cuatro años, y 2014 es el último año con datos disponibles. En tercer lugar, cabe

señalar que en este primer escaneado se presentará un análisis de comparación de medias (*crosstabs*) entre un indicador aditivo de tecnologías I4.0 y algunos de los principales resultados de la empresa industrial. El objetivo es determinar la asociación estadística entre este indicador y los resultados empresariales, lo que no designa necesariamente capacidad predictiva, pero sí infiere vinculación estadística, además de aportar un valor descriptivo para los indicadores analizados. Por último, y en cuarto lugar, con el objetivo de proporcionar información sobre la intensidad de uso yendo más allá de los valores dicotómicos que proporcionan los datos iniciales, cabe indicar que se ha construido un indicador aditivo sobre los usos de cuatro tecnologías I4.0: 1) usos de CAD; 2) usos de robótica; 3) usos de sistemas flexibles de producción; y 4) usos de *hardware* y *software* de control numérico de la actividad. Estas cuatro variables de entrada tomaban dos valores: 0, no utilización, y 1, utilización. En este sentido, la construcción del indicador aditivo nos determina una variable discreta que toma cinco valores (0 a 4). Con el objetivo de hacer más inteligibles los resultados obtenidos, este indicador inicial ha sido recodificado en tres valores: 0, no utiliza ninguna tecnología I4.0; 1, utilización baja: usos de 1 o 2 tecnologías I4.0; 2, utilización intensiva: usos de 3 o 4 tecnologías I4.0. Las frecuencias obtenidas nos determinan que un 29,0% de las empresas industriales de la muestra no utiliza ninguna tecnología I4.0, que un 43,5% realiza una utilización baja (usa 1 o 2 tecnologías I4.0), y que el 27,5% restante de empresas lleva a cabo una utilización intensiva (usa 3 o 4 tecnologías I4.0). Aunque hasta la edición de la ESEE de 2018 no se dispondrá de más información sobre otras tecnologías más propias de la I4.0, como *cloud computing*, *big data* o IoT, las frecuencias obtenidas nos señalan una utilización media-baja de las tecnologías I4.0: un 72,5% de las empresas industriales en España o bien no utiliza, o bien utiliza muy modestamente las tecnologías identificadas de la I4.0.

Tabla 1. Intensidad de uso de las tecnologías I4.0, generación de valor y resultados de la empresa industrial en España. 2014

Variable/indicador	No I4.0	Uso bajo	Uso intensivo	Total
Resultados de la empresa				
Ventas (miles de euros)	26.783	49.073	150.799	70.628***
Valor añadido (miles de euros)	4.934	11.116	28.416	14.089***
Exportaciones (miles de euros)	14.069	19.494	91.687	37.781***
Margen bruto de explotación (%)	4,1	4,3	7,2	5,1*
Generación de valor				
Gasto I+D (miles de euros)	147,1	661,0	2.121,3	910,9***
Empleados I+D (% sobre total empleados)	1,0	5,4	12,3	6,0**
Gasto externo formación por trabajador (€)	73,5	96,4	139,2	101,6***
Inversión medioambiental (% empresas)	3,5	9,3	10,4	23,3***
Gasto medioambiental (% empresas)	10,6	26,7	21,0	58,3***
Tecnología (% empresas)				
Dirección o comité tecnología (% empresas)	3,5	9,8	9,9	23,1***
Asesores tecnológicos (% empresas)	3,0	7,5	8,3	18,8***
Evaluación tecnologías alternativas (% empresas)	3,1	9,7	10,6	23,3***
Serv. programación informática (% empresas)	23,0	38,9	26,4	88,3***
Innovación (% empresas)				
Innovación producto (% empresas)	3,0	7,5	6,1	16,5***
Innovación proceso (% empresas)	6,2	14,6	13,9	34,7***
Innovación organizativa (% empresas)	3,9	8,9	8,1	20,8***
Innovación en comercialización (% empresas)	4,7	8,6	6,2	19,4**
Digitalización (% empresas)				
Compras digitales proveedores (% empresas)	8,1	17,0	14,4	39,5***
Ventas digitales empresas (% empresas)	2,4	4,2	3,9	10,5**
Productividad y empleo				
Productividad (miles de euros por trabajador)	44,1	58,8	63,1	55,7**
Productividad (euros por hora trabajada)	25,2	33,8	36,4	32,0**
Empleados (número)	71,3	158,4	361,9	189,2***
Costes laborales por empleado (euros)	30.736	36.439	41.200	36.097***
N (empresas)	442	663	420	1.525
% (empresas)	29,0	43,5	27,5	100,0

Análisis de asociación estadística: comparación de medias (*crosstabs*). * $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$.

En negrita, los porcentajes de empresas superiores a los esperados usando una distribución normal: residuos estandarizados corregidos con valores $\geq 1,9$.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la ESEE.

Sin embargo, sí se puede afirmar que la intensidad de uso de las tecnologías I4.0, entendida como un mayor número de usos de las cuatro tecnologías identificadas, se asocia a un proceso de generación de valor más intensivo en conocimiento y capital humano, más innovador, más digitalizado y más sostenible. Y, muy probablemente, en consonancia con esto, con unos resultados empresariales claramente más positivos (tabla 1). Si empezamos por el proceso de generación de valor, las empresas con unos usos más intensivos de las tecnologías I4.0 se caracterizan por un gasto en I+D (2,1 millones de euros de media), un porcentaje de empleados en actividades de I+D (12,3%) y un gasto externo en formación por trabajador (139,2 euros) muy superiores a los otros dos niveles de uso. Del mismo modo, estas empresas también destacan por unos usos mucho más intensivos de la tecnología: presencia de una dirección o comité de tecnología (9,9% del total de empresas), utilización de asesores tecnológicos (8,3%) y evaluación de tecnologías alternativas (10,6%). Las empresas más intensivas en la utilización de tecnologías I4.0 también destacan por una mayor propensión a la innovación: producto (6,1%), proceso (13,9%), organización (8,1%) y comercialización (6,2%), y por una mayor profundidad de los usos del comercio electrónico: compras digitales a los proveedores (14,4%) y ventas digitales a las empresas (3,9%). Por último, los usos más intensivos de las tecnologías I4.0 también se asocian a un proceso de generación de valor más limpio, puesto que también se obtiene una presencia significativamente más elevada que en los otros niveles de uso de la inversión (10,6%) y del gasto (21,0%) en protección medioambiental.

Probablemente, de acuerdo con este proceso de generación de valor más intensivo en tecnología, capital humano, innovación y digitalización, los resultados de las empresas más intensivas en los usos de las tecnologías I4.0 también son claramente mejores. En efecto, las empresas con usos tecnológicos I4.0 más intensivos se caracterizan por un volumen de ventas (150,8 millones de euros), un valor añadido (28,4 millones de euros) y unas exportaciones (91,7 millones de euros) que, al menos, duplican la media del conjunto de la empresa industrial. Asimismo, el margen bruto de explotación se sitúa más de dos puntos por encima de la media sectorial (7,2% frente al 5,1%, respectivamente). Por último, también es reseñable que la empresa intensiva en tecnologías I4.0 es un 30% más eficiente (productividad por trabajador o por hora trabajada) que las empresas que no usan estas tecnologías: 63,1 miles de euros por trabajador y 36,4 euros por hora trabajada. Del mismo modo, también es capaz de emplear a un número mucho mayor de trabajadores (361,9 empleados de media, prácticamente el doble de la media industrial) y de retribuirlos mucho mejor (41,2 miles de euros de coste laboral por trabajador, un 12,4% por encima de la media industrial).

Conclusión: I4.0, ¿hacia una nueva base tecnológica de propósito general en la industria?

Acabamos de constatar que unos mayores usos de las tecnologías I4.0 se asocian con un proceso de generación de valor de la empresa industrial más intensivo en I+D y en capital humano, más innovador y más sostenible. Probablemente, las relaciones de complementariedad establecidas entre la I4.0 y el resto de dimensiones tecnológicas y basadas en el conocimiento de las empresas determinen unos mejores resultados en términos de ventas, valor añadido, exportaciones, margen bruto de explotación, productividad, empleo y salarios. Sin embargo, el análisis realizado solo nos permite situar los resultados obtenidos en el terreno de la asociación estadística. Lamentablemente, la no disposición de datos sobre otras tecnologías I4.0 clave, como el *big data*, el *cloud computing* o el IoT, y la falta de una serie temporal de datos nos ha impedido ir más allá. También es probable que en la explicación de la implantación y de los usos de estas tecnologías existan efectos de dimensión y de sector de actividad, de manera que estos también sean importantes en la determinación de los resultados empresariales derivados de la I4.0. Pero del análisis realizado sí podemos deducir que, a pesar de su estado incipiente, las tecnologías I4.0 manifiestan propiedades de plataforma tecnológica en el sentido de que se conectan con el resto de la base tecnológica e innovadora de las empresas. En la medida en que estas sean capaces de generar más relaciones de complementariedad con otros activos y dimensiones de la empresa, así como determinar nuevas fuentes de eficiencia, las tecnologías I4.0 podrían acabar consolidándose como una nueva base tecnológica de propósito general.

Bibliografía

- BODROZIC, A.; ADLER, P. S. (2018). «The Evolution of Management Models: A Neo-Schumpeterian Theory». *Administrative Science Quarterly* (vol. 63, núm. 1, pág. 85-129). <https://doi.org/10.1177/0001839217704811>
- BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M.; ROSENBERG, M. (2014). «How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective». *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering* (vol. 8, núm. 1, pág. 37-44).
- DALENOGARE, L. S.; BENITEZ, G. B.; AYALA, N. F.; FRANK, A. G. (2018). «The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance». *International Journal of Production Economics* (núm. 204, pág. 383-398). <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
- DE SOUSA-JABBOUR, A. B. L.; JABBOUR, C. J. C.; FOROPON, C.; GODINHO-FILHO, M. (2018). «When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave?». *Technological Forecasting & Social Change* (núm. 132, pág. 18-25). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.01.017>
- DÍAZ-CHAO, A.; SAINZ-GONZÁLEZ, J.; TORRENT-SELLENS, J. (2015). «ICT, innovation and firm productivity: New evidence from small local firms». *Journal of Business Research* (vol. 68, núm. 7, pág. 1439-1444). <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.01.030>
- FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALA, N. F. (2019). «Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing». *International Journal of Production Economics* (núm. 210, pág. 15-26). <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- JESCHKE S.; BRECHER C.; MEISEN, T.; ÖZDEMİR, D.; ESCHERT T. (2017). «Industrial Internet of Things and Cyber Manufacturing Systems». En: JESCHKE, S.; BRECHER, C.; SONG, H.; RAWAT, D. (eds.). *Industrial Internet of Things*. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42559-7>
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Securing the future of German manufacturing industry. Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Acatech: Forschungsunion.
- LONGO, F.; NICOLETTI, L.; PADOVANO, A. (2017). «Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context». *Computers & Industrial Engineering* (núm. 113, pág. 144-159). <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.016>
- LU, Y. (2017). «Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues». *Journal of Industrial Information Integration* (vol. 6, pág. 1-10). <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- MONOSTORI, L.; KÁDÁR, B.; BAUERNHANSL, T.; KONDOH, S.; KUMARA, S.; REINHART, G.; SAUER, O.; SCHUH, G.; SIHN, W.; UEDA, K. (2016). «Cyber-physical systems in manufacturing». *CIRP Annals Manufacturing Technology* (vol. 65, núm. 2, pág. 621-641).
- MÜLLER, O.; FAY, M.; VOM BROCKE, J. (2018). «The Effect of Big Data and Analytics on Firm Performance: An Econometric Analysis Considering Industry Characteristics». *Journal of Management Information Systems* (vol. 35, núm. 2, pág. 488-509). <https://doi.org/10.1080/07421222.2018.1451955>
- PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E. (2014). «How Smart, Connected Products Are Transforming Competition». *Harvard Business Review* (vol. 92, núm. 11, pág. 64-88).
- PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E. (2015). «How Smart, Connected Products Are Transforming Companies». *Harvard Business Review* (vol. 93, núm. 10, pág. 96-114).
- SCHUH, G.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER, J.; TEN HOMPEL, M.; WAHLSTER, W. (2017). *Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies*. Munich: Acatech.
- TAO, F.; CHENG, J.; QI, Q.; ZHANG, M.; ZHANG, H.; SUI, F. (2018). «Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data». *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (vol. 9, núm. 9-12, pág. 3563-3576). <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1>
- TORRENT-SELLENS, J. (2004). *Innovació tecnològica, creixement econòmic i economia del coneixement*. Barcelona: Consell de Treball, Econòmic i Social de Catalunya (CTESC), Generalitat de Catalunya.

- TORRENT-SELLENS, J. (2018). *Las empresas industriales en 2016. Encuesta sobre Estrategias Empresariales (ESEE). Robótica, productividad y empleo en la empresa industrial*. Madrid: Ministerio de Hacienda, Gobierno de España.
- TORRENT-SELLENS, J.; DÍAZ-CHAO, A. (2018). «Coneixement, robòtica i productivitat a la PIME industrial catalana: evidència empírica multidimensional». En: FERRÀS, X.; ALCOBA, O.; TORRENT-SELLENS, J. (coords.). *Transformació digital i intel·ligència artificial*. Barcelona: Col·legi d'Economistes de Catalunya (pág. 91-126).
- TRAJTENBERG, M. (2018). «AI as the next GPT: A Political-Economy Perspective». *National Bureau of Economic Research (NBER) Working Paper* (núm. 24245). <https://doi.org/10.3386/w24245>
- WANG, S.; WAN, J.; LI, D.; ZHANG, C. (2016). «Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook». *International Journal of Distributed Sensor Networks* (vol. 12, núm. 1, pág. 1-10). <https://doi.org/10.1155/2016/3159805>
- WEI, Z.; SONG, X.; WANG, D. (2017). «Manufacturing flexibility business model design, and firm performance». *International Journal of Production Economics* (núm. 193, pág. 87-97). <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.07.004>
- WELLER, C.; KLEER, R.; PILLER, F. T. (2015). «Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited». *International Journal of Production Economics* (núm. 164, pág. 43-56). <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.02.020>
- XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. (2018). «Industry 4.0: state of the art and future trends». *International Journal of Production Research* (vol. 56, núm. 8, pág. 2941-2962). <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- ZHONG, R. Y.; XU, X.; KLOTZ, E.; NEWMAN, S. T. (2017). «Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review». *Engineering* (vol. 3, núm. 5, pág. 616-630). <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>

Cita recomendada: TORRENT-SELLENS, Joan. *Industria 4.0 y resultados empresariales en España: un primer escaneado*. *Oikonomics* [en línea]. Noviembre 2019, no. 12, pp. 1-11. ISSN: 2339-9546. DOI: <https://doi.org/10.7238/o.n12.1910>



Joan Torrent-Sellens

jtorrent@uoc.edu

Estudios de Economía y Empresa, Universitat Oberta de Catalunya (UOC)

Catedrático de Economía de los Estudios de Economía y Empresa de la Universitat Oberta de Catalunya (UOC). Director del grupo interdisciplinar de investigación sobre las TIC, i2TIC (<http://i2TIC.net>). Especialista en el análisis económico de la transformación digital y de la economía del conocimiento, temática sobre la que ha publicado cuarenta libros y capítulos de libro, y noventa artículos en revistas de investigación indexadas.

Los textos publicados en esta revista están sujetos –si no se indica lo contrario– a una licencia de Reconocimiento 4.0 Internacional de Creative Commons. Puede copiarlos, distribuirlos, comunicarlos públicamente, hacer obras derivadas siempre que reconozca los créditos de las obras (autoría, nombre de la revista, institución editora) de la manera especificada por los autores o por la revista. La licencia completa se puede consultar en https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES.



Dossier «Revolución 4.0: ¿progreso o precarización?»

Coordinador: Josep Lladós

RETOS DE FUTURO... Y DE PRESENTE

¿Nos robarán los robots los puestos de trabajo? Un vistazo al mercado laboral en España

Josep Lladós

Profesor agregado de los Estudios de Economía y Empresa de la UOC

RESUMEN Las tecnologías basadas en la inteligencia artificial y en la robótica son uno de los principales retos actuales sobre el futuro del trabajo humano. La llamada Revolución 4.0 cuestiona algunos modelos de negocio, transforma los requerimientos formativos para el sistema productivo e impacta progresivamente en la distribución de la renta.

El mercado laboral español es un buen ejemplo de cómo esta nueva oleada de cambio tecnológico puede impactar en los niveles y sobre todo en la estructura de la ocupación. Se detecta una creciente polarización en la demanda de trabajo y en las oportunidades de trabajo en función de los niveles educativos y de varios efectos de desajuste laboral, atribuibles principalmente a las características de un modelo productivo dominante que es intensivo en tareas de naturaleza rutinaria, pero poco activo en la incorporación de las tecnologías emergentes.

PALABRAS CLAVE Revolución 4.0; mercado laboral; inteligencia artificial; robótica

Will robots take our jobs? A look at the labour market in Spain

ABSTRACT *The technologies based on artificial intelligence and robotics are one of the leading challenges facing us now with regards to the future of human work. The so-called Industry 4.0 is placing various business models in doubt, transforming training requirements for the system of production, and is progressively impacting on the distribution of profit.*

The Spanish labour market provides a good example of how this new wave of technological change can have an impact on the levels and especially the structure of employment. A growing polarisation can be seen in labour demand and employment opportunities in accordance with educational levels and the various effects of labour imbalance, which are principally attributable to the characteristics of a dominant production model that is intensive in tasks of a routine nature but not particularly active in the incorporation of emerging technologies.

KEYWORDS *Industry 4.0; labour market; artificial intelligence; robotics*

1. La relación entre cambio tecnológico y ocupación

¿Nos dejarán sin trabajo los robots? Esta parece ser la principal inquietud social cuando hablamos de las consecuencias de la llamada cuarta revolución industrial. No es poca cosa, porque indudablemente la digitalización tendrá una influencia capital en el futuro del trabajo, también en nuestra casa.

El cambio tecnológico, sin embargo, no es un proceso lineal y determinista fácil de predecir, ya que no acostumbra a desarrollarse en el tiempo siguiendo pautas muy delimitadas ni tampoco se disemina sistemáticamente entre los diferentes sectores económicos. Por el contrario, a menudo avanza a sacudidas y, a veces, lo hace de manera imprevista. La incidencia de la nueva oleada de automatización probablemente también será progresiva y facilitará tiempo para adaptarse, adquirir los conocimientos necesarios y acomodarse satisfactoriamente a los cambios laborales y organizativos que se deriven.

En realidad, la incorporación de nuevos conocimientos a la actividad productiva es uno de los principales factores de progreso económico y social. De hecho, los adelantos tecnológicos y científicos desarrollados en el último siglo no tienen precedente histórico sin que su aplicación generalizada en la actividad económica haya generado una situación de sustitución masiva de trabajo. Por el contrario, la aplicación continuada de nuevas técnicas y conocimientos ha aumentado las posibilidades de producción y de consumo, a la vez que también lo ha hecho con los niveles de ocupación.

Aun así, una de las preocupaciones recurrentes de las sociedades modernas es conocer los efectos del cambio tecnológico en el mercado laboral. Esta inquietud se hace más patente cuando las sociedades afrontan los riesgos derivados de la revolución digital. Por un lado, porque ha acelerado el ritmo de cambio tecnológico con el desarrollo de numerosas innovaciones y aplicaciones que están transformando profundamente los procesos de producción, distribución y consumo. Por otro lado, porque las innovaciones tecnológicas de base digital también están modificando sensiblemente los conocimientos y las habilidades que se requieren en el trabajo.

Si bien ha quedado patente que el impacto del cambio tecnológico sobre la demanda laboral agregada no es negativo, también se ha puesto de manifiesto que sus consecuencias en la composición del empleo son muy importantes. Las tecnologías emergentes no solo sustituyen y crean ocupación, también transforman el trabajo y modifican su composición. Es decir, el cambio tecnológico no es neutral, más bien induce a unos efectos sesgados sobre la demanda de cualificaciones, porque la tecnología se complementa siempre mejor con unas habilidades que con otras. Y, a pesar de que estas habilidades no tienen por qué ser exclusivas de los niveles educativos superiores, las nuevas tecnologías acostumbran a complementarse mejor con el trabajo de más cualificación. Esta mayor complementariedad provoca que aumente la demanda laboral y mejoren los niveles de productividad de este conjunto de trabajadores, probablemente porque están mejor preparados para aprender los nuevos conocimientos y para adaptarse más rápidamente a los cambios organizativos requeridos por el uso de las tecnologías emergentes.

En realidad, la interacción entre innovación tecnológica y trabajo depende de la combinación de cuatro efectos diferentes que tienen naturaleza directa o indirecta. Obviamente, hay efectos relacionados con la sustitución y la creación directa de trabajo. Por un lado, la aparición de nuevas tecnologías sustituye trabajo, con el objetivo de elevar la productividad y ahorrar costes productivos. Este efecto es lo que se conoce como automatización laboral, ya que permite el desarrollo de tareas sin intervención humana. Por otro lado, el cambio tecnológico crea ocupación en aquellas actividades económicas que son el origen de las innovaciones o que están estrechamente relacionadas. La demanda de estos sectores se expandirá, y con ella sus niveles de ocupación.

Nada nos garantiza que el balance resultante de la interacción de estos dos efectos directos sea necesariamente positivo, pero la experiencia nos muestra que el resultado final agregado es favorable por la presen-

cia de otros efectos inducidos que compensan la destrucción de ocupación. El primer efecto indirecto tiene relación con la complementariedad existente entre el capital tecnológico y el capital humano. Al aumento en la demanda del trabajo que dispone de los conocimientos específicos incorporados a las nuevas tecnologías, y a la reconfiguración de tareas en cada puesto de trabajo que resulta de su utilización, se añade la aparición de ocupaciones emergentes surgidas de la aplicación económica novedosa de los nuevos conocimientos y habilidades adquiridas. Finalmente, el cambio tecnológico implica también el efecto colateral de impulsar la demanda de bienes y de servicios que son ajenos al desarrollo de las innovaciones. En la medida en que el cambio tecnológico mejora la productividad y las rentas, también se impulsa una mayor demanda en otras actividades económicas que favorece el crecimiento del empleo.

Pero en la medida en que estos efectos indirectos son probablemente más intuitivos que evidentes, el grueso de los estudios de impacto potencial ha concentrado sus esfuerzos esencialmente en estimar las consecuencias negativas de la automatización digital, induciendo una visión alarmista y angustiosa, pero también parcial, de las tecnologías 4.0.

Es importante comprender que las tecnologías que emergen de la innovación tienen efectos proporcionales al alcance con el que se utilizan, de manera que las tecnologías de uso más general (como sería el caso de las digitales) tienen efectos potenciales más amplios que aquellas que solo se aplican en la mejora de algunos procesos específicos. También es sabido que las tecnologías digitales no solo sustituyen habilidades manuales, también reemplazan algunas habilidades mentales. Así, todo haría pensar que la nueva oleada de revolución digital, sustentada en la inteligencia artificial y en la robótica, ciertamente amenazaría puestos de trabajo ocupados por personas con niveles de cualificación media o elevada, y podría tener un efecto disruptivo. Es decir, esta vez podría ser distinto, porque evidentemente la evolución anterior del mercado laboral y la influencia que tuvieron en el pasado sus factores determinantes no deciden necesariamente su comportamiento futuro.

Es obvio, del mismo modo que ha sucedido siempre, que la nueva era de cambio tecnológico también inducirá ajustes importantes en el mercado laboral. Estas consecuencias serán heterogéneas, en función de la capacidad de los trabajadores para adaptarse a las tecnologías emergentes y de las tareas que estén desarrollando en su puesto de trabajo. De hecho, este es el elemento crítico en el análisis del impacto sobre el mercado laboral: ser conscientes de que las tecnologías emergentes no sustituyen empleos o puestos de trabajo, sino que lo que hacen es reemplazar tareas o conjuntos de tareas. Es decir, las tecnologías 4.0 afectan más a tareas específicas que no a cualificaciones concretas. Dos personas con la misma cualificación y el mismo tipo de empleo en dos empresas distintas, en la práctica probablemente están desarrollando tareas distintas en su puesto de trabajo, de manera que el impacto del cambio tecnológico probablemente será también desigual.

El foco de atención de las consecuencias del cambio tecnológico en el mercado laboral se debería orientar hacia las tareas que se desarrollan y hacia las habilidades que se requieren en cada puesto de trabajo, porque la adaptación al cambio tecnológico se llevará a cabo principalmente mediante la modificación en la estructura de las tareas en cada puesto de trabajo. El consenso académico existente nos muestra que el progreso tecnológico esencialmente presenta una tendencia a sustituir tareas rutinarias, mientras que la complementariedad de las habilidades requeridas estará definida por su naturaleza cognitiva o manual. La tabla siguiente nos ofrece, esquemáticamente, esta predicción.

Tabla 1. Tipologías de tareas

Complementariedad en las habilidades			
Facilidad de automatización		Elevada	Baja
	Elevada	Rutinarias cognitivas	Rutinarias manuales
	Baja	No rutinarias cognitivas	No rutinarias manuales
Impacto esperado del cambio tecnológico			
Tipo de ocupación (según intensidad de habilidades)		Impacto esperado sobre la ocupación	Impacto esperado sobre las rentas
No rutinarias cognitivas		Positivo	Positivo
Rutinarias manuales y cognitivas		Negativo	Negativo
No rutinarias manuales		Positivo	Negativo

Fuente: Elaboración propia a partir de WTO (2017).

De este modo, es previsible que la tecnología mejore las perspectivas de ocupación de las personas que realizan tareas no rutinarias y que implican habilidades cognitivas, ya que son menos fáciles de reproducir mediante algoritmos, a la vez que son más productivas con el apoyo de las tecnologías digitales. En cambio, el escenario es menos favorable para las tareas rutinarias que pueden sustituirse mediante la automatización digital, tanto si requieren de habilidades mentales como manuales. En cambio, el riesgo sería inferior para los puestos de trabajo definidos por un conjunto de tareas que, a pesar de ser manuales, no sean rutinarias, porque no son fácilmente automatizables a pesar de que puedan estar ocupados por trabajo poco cualificado.

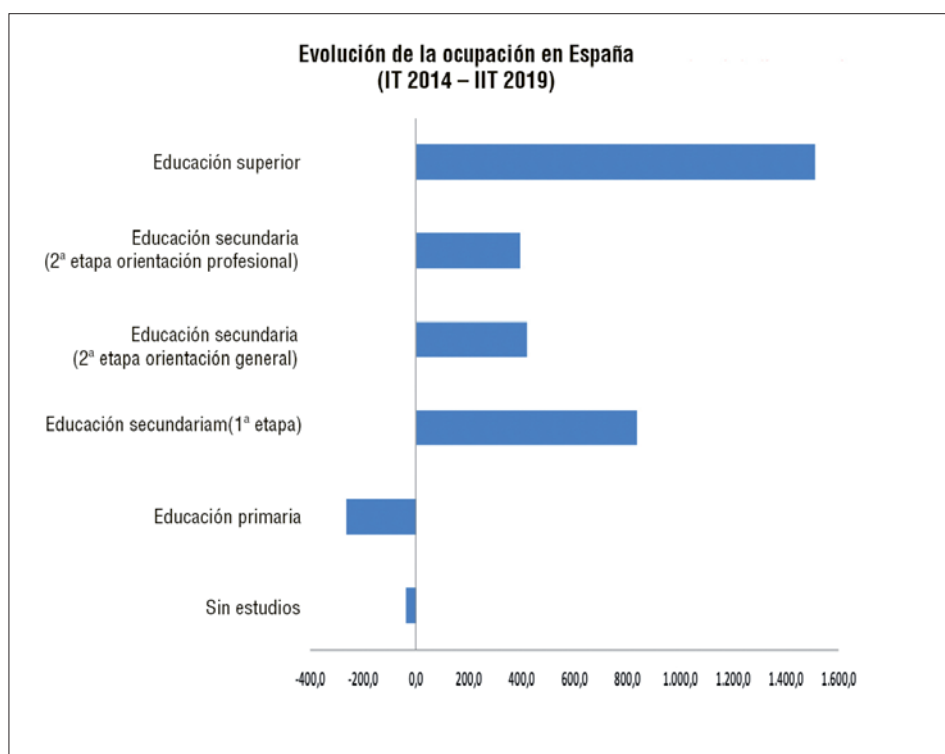
Por lo tanto, se anunciaría una tendencia hacia la polarización creciente del mercado laboral, con una demanda relativa inferior de los niveles intermedios de cualificación, a la vez que se prevé un aumento en la desigualdad de las rentas salariales en favor del trabajo más cualificado. Diferentes motivos lo justificarían. Por un lado, como resultado de una mayor demanda relativa de los trabajadores con niveles educativos más altos. Por otro lado, por el desajuste existente en el mercado laboral entre oferta y demanda de habilidades. Estos desajustes (*mismatch*) entre las habilidades que demandan las empresas y los conocimientos disponibles por la fuerza laboral pueden dar lugar al desplazamiento del trabajo con más formación a lo largo de la escalera ocupacional, en detrimento de las personas con menor nivel educativo (*deskilling*).

2. Evolución reciente del mercado laboral en España

Una buena manera de aproximarse a cuáles serían los primeros efectos de esta nueva fase de progreso tecnológico sería analizar la evolución reciente del mercado laboral en España, porque se trata de una de las economías más afectadas por la reciente crisis financiera. El proceso de devaluación interna de costes tuvo en la destrucción de casi cuatro millones de puestos de trabajo una de sus principales consecuencias. La posterior reactivación económica ha renovado casi el 20% del mercado laboral en España, de manera que vale la pena analizar las características de la nueva ocupación generada, con el fin de inferir de qué transformaciones de la estructura ocupacional se acompaña la nueva etapa tecnológica.

El estudio de los cambios en la distribución del trabajo, en función del nivel educativo y del tipo de ocupación, nos proporciona resultados relevantes. La evolución del mercado laboral en España, de acuerdo con los datos contenidos en la Encuesta de Población Activa, confirmaría que el cambio tecnológico tiene un efecto heterogéneo en la ocupación en función del nivel educativo. En general, podemos percibir que el mercado laboral español presenta algunos rasgos específicos que la reactivación posterior a la crisis financiera ha consolidado.

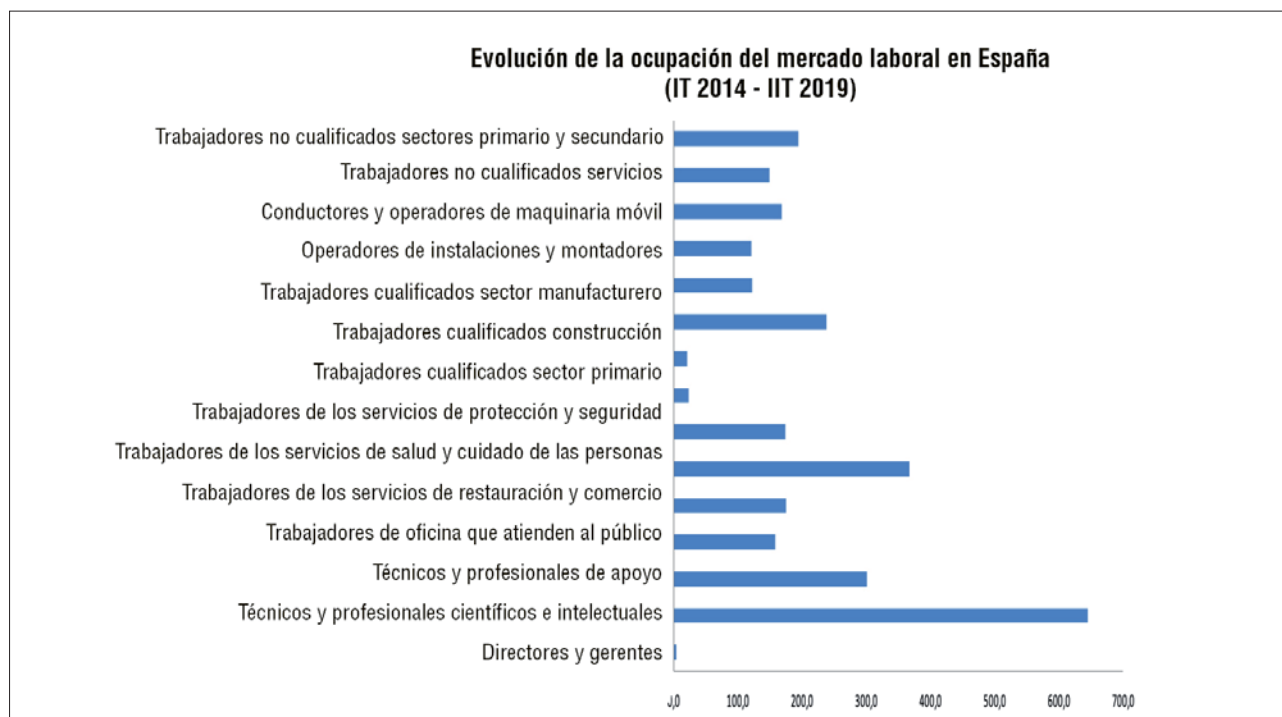
Un primer efecto muy visible es que la demanda de cualificaciones ha aumentado significativamente, de manera que parecería que el riesgo de automatización es más elevado entre las personas que realizan trabajos que requieren un nivel de cualificación laboral más bajo. Uno de cada dos nuevos puestos de trabajo creados es ocupado por una persona con estudios superiores. De este modo, el peso de la ocupación más cualificada en el mercado laboral en España supera el 43% del empleo actual.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Encuesta de Población Activa.

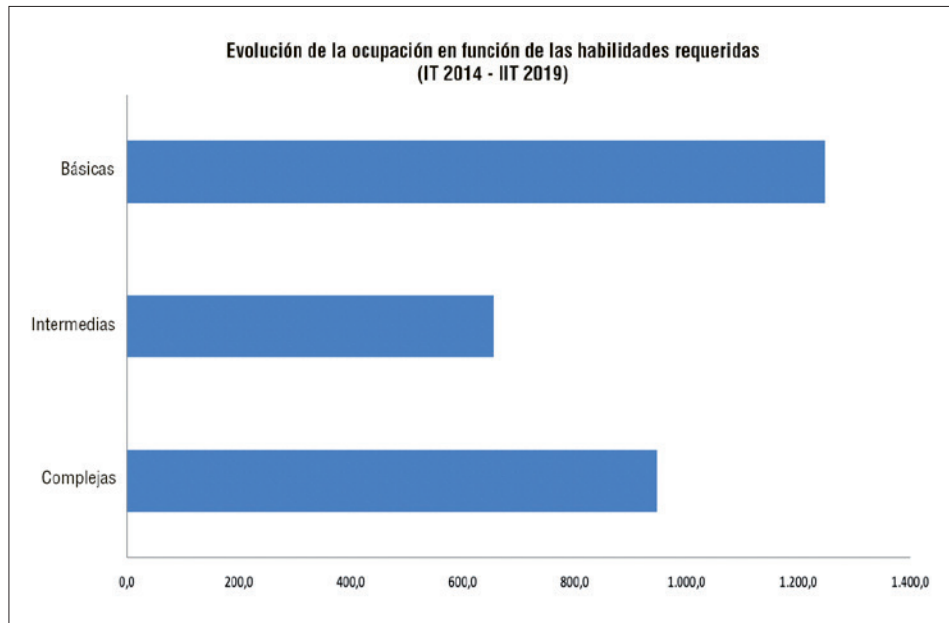
Pero más que un sesgo en favor del trabajo más cualificado, se puede percibir un creciente efecto de polarización, en la medida que a la vez que ha aumentado sustancialmente la ocupación más cualificada, el trabajo con niveles de cualificación inferiores también crece notablemente. En cambio, los niveles intermedios de cualificación estarían siendo los menos dinámicos en cuanto a la creación de nuevos puestos de trabajo, es decir, la nueva ocupación generada a partir de la reactivación económica habría consolidado las diferencias en la probabilidad de acceder a un trabajo en función del nivel educativo.

Una explicación de este comportamiento dual emerge cuando analizamos los perfiles profesionales demandados en la nueva ocupación. Se pone de manifiesto un crecimiento apreciable tanto de los puestos de trabajo que requieren un nivel elevado de cualificación profesional (técnicos y profesionales científicos e intelectuales...) como también de aquellos otros integrados mayoritariamente por tareas y funciones de carácter rutinario y, por lo tanto, potencialmente más susceptibles de verse afectados por el cambio tecnológico (trabajadores de servicios de restauración, ocupaciones elementales...). Este es un indicio del protagonismo, en la recuperación reciente, de la ocupación en algunas actividades económicas de bajo valor añadido.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Encuesta de Población Activa.

El análisis de los cambios recientes en el mercado laboral español se puede completar observando la demanda de habilidades requeridas en los nuevos puestos de trabajo creados. Inferimos esta demanda a partir de la nueva clasificación internacional de ocupaciones ISCO-08, que define cada trabajo a partir de las habilidades requeridas en los distintos tipos de ocupaciones para desarrollar eficazmente las tareas y las responsabilidades asignadas. Podemos observar cómo, después del ajuste y de la reactivación del mercado laboral, y a pesar de la magnitud de los nuevos puestos de trabajo creados, la estructura ocupacional no ha sufrido una transformación profunda en cuanto a las habilidades requeridas. Por el contrario, la demanda de habilidades básicas continúa predominando en la creación de nueva ocupación en España, lo que revela la resistencia al cambio del modelo productivo dominante. Es decir, el comportamiento reciente del mercado laboral pone de manifiesto que la creciente demanda de cualificaciones no se acompaña de una demanda mayoritaria de habilidades complejas. Es significativo que más del 40% de los puestos de trabajo de nueva creación son para ocupaciones que requieren habilidades básicas. La consecuencia inmediata de ello es un desajuste creciente vinculado a la demanda de cualificaciones.

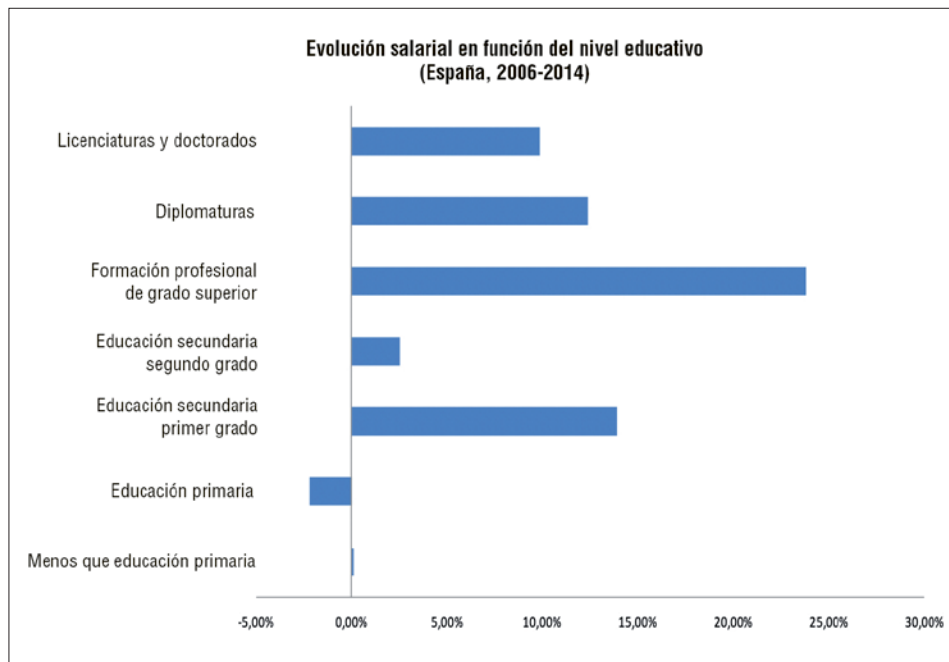


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Encuesta de Población Activa.

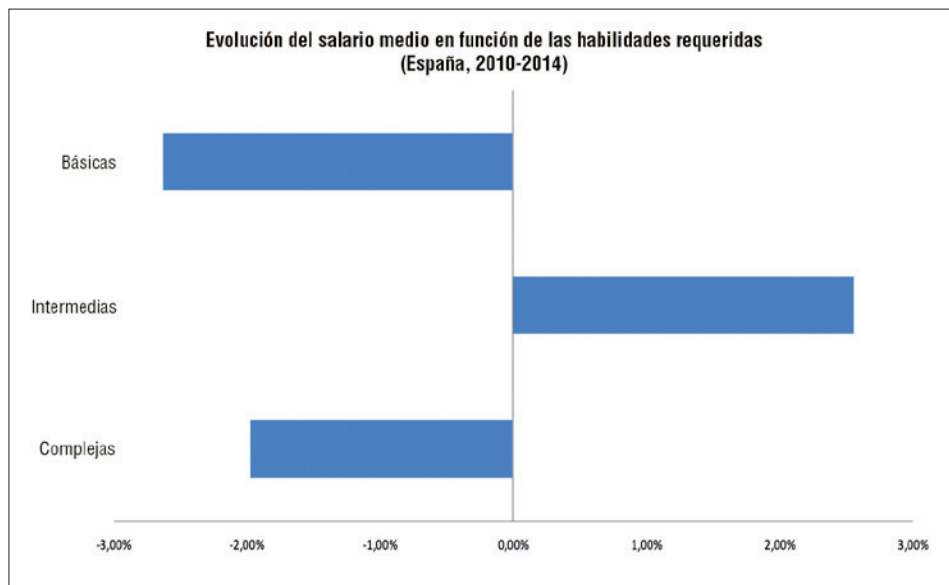
De este modo, a pesar de que la ocupación con estudios superiores es claramente predominante, la demanda relativa de habilidades complejas es mucho menos importante. El resultado inmediato es un desajuste creciente en función del nivel educativo con un desplazamiento progresivo de trabajadores con altos niveles de estudios hacia trabajos que requieren competencias y habilidades más sencillas, y que tradicionalmente ocupaban trabajadores menos cualificados. En consecuencia, a la vez que el mercado laboral se segmenta en favor de los más cualificados, el desencaje existente entre las cualificaciones de la demanda laboral y los requerimientos del sistema productivo induce a un desplazamiento descendente del trabajo más cualificado por la escalera ocupacional.

Otro efecto de que las oportunidades de trabajo sean más elevadas para el trabajo cualificado, pero que este ocupe de manera creciente puestos de trabajo de escaso valor añadido, sería la reducción de la prima salarial que reciben las personas con más estudios. Los datos de la Encuesta de estructura salarial nos muestran la tendencia existente en favor de una mayor remuneración de algunos perfiles menos demandados, pero que tienen restricciones de oferta por parte del sistema educativo, principalmente en cuanto a la formación profesional de grado superior. Este desajuste también incidiría en los cambios observados en la remuneración de las habilidades requeridas.

Al no disponer de datos posteriores a 2014, sería necesario un análisis más actualizado de la evolución salarial en función de los perfiles profesionales y de los niveles educativos para confirmar que, a medida que el trabajo más cualificado se desplaza por la escalera ocupacional, quedan afectadas tanto las oportunidades de encontrar trabajo como las rentas salariales.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Encuesta de estructura salarial.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Encuesta de estructura salarial.

En el contexto europeo, la economía española presenta una estructura económica que es relativamente más intensiva en puestos de trabajo que desarrollan tareas rutinarias. Pero a pesar de que en muchas economías europeas las tecnologías emergentes están instigando un cambio tecnológico que reduce la presencia de esta tipología de tareas, este no sería exactamente el caso del mercado laboral español. El principal motivo radica en el hecho de que en el modelo productivo predominen tareas que si bien son rutinarias no son altamente repetitivas, lo que complica su automatización. En general, son tareas llevadas a cabo sobre todo en los puestos de trabajo característicos de los servicios personales, como el turismo, la atención a las personas dependientes o la restauración. Esta mayor complejidad en la sustitución hombre-máquina limitaría el alcance de la automatización digital en España, a pesar de que la mayor parte de estos puestos de trabajo ocupen a personas con niveles educativos

bajos. Hasta el momento, la transformación digital avanza lentamente en esta economía, probablemente también porque afronta la dura competencia de modelos de negocio basados en la contención salarial y en las precarias condiciones laborales de las personas que desarrollan este tipo de tareas. El conjunto de estos factores puede retrasar el impacto directo de la automatización digital en España, pero no evitar la polarización de las rentas salariales ni impedir el efecto sustitución en el futuro.

Probablemente la sociedad española está a las puertas de una transformación gradual y profunda de la economía y de su mercado laboral como resultado de la cuarta revolución industrial. En este momento, presenta algunos factores de riesgo asociados al cambio tecnológico. Es cierto que las oportunidades de ocupación han mejorado mucho para las personas más cualificadas, y que estas serán las más preparadas para desarrollar, programar y utilizar las nuevas tecnologías, pero también lo es que actualmente muchos trabajadores cualificados no pueden beneficiarse de su inversión en educación debido a la escasa demanda de sus habilidades en el mercado laboral español. Tampoco ayuda el menor uso relativo de las tareas cognitivas y de los recursos humanos expertos en ciencia y tecnología, los déficits organizativos y tecnológicos en el tejido productivo y un *mismatch* en el mercado laboral que evita que la experiencia laboral mejore sensiblemente el nivel competencial de los ocupados.

3. Conclusiones

Ciertamente, las innovaciones tecnológicas no aparecen nunca en el espacio vacío, sino en un entorno normativo y regulador concreto. Los nuevos desarrollos y aplicaciones exigirán cambios en el marco legal vigente y posiblemente inducirán a nuevas áreas normativas que acabarán definiendo la manera cómo las nuevas tecnologías podrán utilizarse. Del mismo modo, la respuesta social a un cambio que es potencialmente disruptivo no solo será lo que definirá los usos finales y delimitará el alcance de las nuevas tecnologías, sino que también influirá en la orientación y en los contenidos reguladores. La viabilidad técnica y económica no es suficiente si no se promueve la adopción de nuevas regulaciones que generen un mayor clima de confianza, seguridad y aceptación social.

No todo lo que percibimos como tecnológicamente posible será económicamente viable, rentable o aceptable para las empresas, que tendrán que afrontar las restricciones internas de los recursos y gestionar sus procesos de toma de decisiones estratégicas en el contexto de su propia cultura directiva y organizativa. La velocidad de adopción de las nuevas tecnologías a menudo es más incierta y volátil de lo que a *priori* aparenta.

No hace falta, pues, precipitarse a la hora de realizar valoraciones sobre los efectos futuros en el mercado laboral, pero la composición del empleo muestra una tendencia a la segmentación, y el sesgo sobre las oportunidades de trabajo ya es evidente, de manera que el riesgo asociado a la automatización digital se irá distribuyendo desigualmente entre la sociedad. En estos casos, son más trascendentes y necesarias las políticas que ayudan a preparar a las personas para los cambios en los requisitos laborales. Parecería adecuado afinar en las prioridades y en los contenidos de las políticas públicas y en las estrategias empresariales para facilitar una atención adecuada a un reto que es complejo y saber sacar el máximo provecho social a la vez mediante una apuesta colectiva que fuera socialmente más inclusiva.

Desde la perspectiva de las políticas públicas, probablemente sería conveniente focalizar los esfuerzos en facilitar la actividad de investigación y de desarrollo en tecnologías relacionadas con la inteligencia artificial, promover mecanismos de impulso al cambio tecnológico, favorecer la diseminación de las tecnologías emergentes en condiciones de libre competencia, educar a la sociedad para el trabajo futuro, favorecer la formación en ocupaciones emergentes, mejorar el capital humano facilitando la formación en el puesto de trabajo, promover la flexibilidad interna en las organizaciones, reforzar la red de protección social y la transición entre ocupaciones laborales o impulsar políticas de inversión que garanticen el acceso universal a las infraestructuras digitales, entre otros.

En cuanto a las estrategias empresariales, tal vez parecerían necesidades urgentes mejorar la dotación interna de capital humano y tecnológico, promover cambios organizativos que consoliden una ocupación de más calidad, modificar los contenidos de las políticas de formación interna, estimular la cooperación orientada al desarrollo y a la aplicación de innovaciones, acelerar la creación de puestos de trabajo digitales, experimentar con puestos de trabajo basados en la interacción seres humanos-máquinas, promover la adaptación al cambio

tecnológico como elemento de diferenciación en el mercado y desarrollar soluciones tecnológicas que permitan atender necesidades específicas de los consumidores.

Si la innovación tecnológica es fuente de progreso económico y motor de cambio social, y si la ciencia y los conocimientos de hoy se convertirán en la tecnología del mañana, las líneas de juego están bien diseñadas para que las instituciones públicas y el tejido empresarial interactúen con habilidad para vencer los obstáculos, los costes y las dificultades inherentes al cambio, y transformar el desafío 4.0 en un triunfo para el conjunto de la sociedad.

Algunas referencias para saber más cosas...

- ACEMOGLU, D.; AUTOR, D. (2011). «Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings». En: David Cardo; Orley Ashenfelter (eds). *Handbook of Labor Economics*. Vol. 4b, págs. 1043-1171. [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(11\)02410-5](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(11)02410-5)
- ACEMOGLU, D.; RESTREPO, P. (2017). «Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets». *NBER Working Papers*. National Bureau of Economic Research. MIT. <https://doi.org/10.3386/w23285>
- ARNTZ, M.; GREGORY, T.; ZIERAHN, U. (2016). «The Risk of Automatization for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis». *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*. N.o 189. París. <https://doi.org/10.1787/5jlz9h56dvq7-en>
- AUTOR, D. H. (2015). «Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation». *Journal of Economic Perspectives*. Vol. 29, n.o 3, págs. 3-30. <https://doi.org/10.1257/jep.29.3.3>
- AUTOR, D. H.; LEVY, F.; MURNAME, R. J. (2003). «The Skill Content of Recent Technological Change». *The Quarterly Journal of Economics*. Vol. 118, n.o 4, págs. 1279-1333. <https://doi.org/10.1162/003355303322552801>
- BLANCO, R.; FONTRODONA, J.; POVEDA, C. (2016). «La indústria 4.0 a Catalunya». *Memòria Econòmica de Catalunya, 2016*. Consell de Cambres de Comerç de Catalunya.
- BOSTON CONSULTING GROUP (2015a). *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*.
- BOSTON CONSULTING GROUP (2015b). *Man and Machine in Industry 4.0. How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025?*.
- CAIXABANK RESEARCH (2016). «Les noves tecnologies i el mercat de treball». [dosier incluído en el Informe Mensual, 398].
- DELOITTE (2015). *From brawn to brains. The impact of technology on jobs in the UK*.
- EUROFOND (2016). What do Europeans do at work? A task-based analysis: European Jobs Monitor 2016. *Eurofound* European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions.
- FREY, C. B.; OSBORNE, M. (2013). «The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerization?». Working Paper. *Oxford Martin School*: University of Oxford.
- GRAETZ, G.; MICHAELS, G. (2015). «Robots at Work». *CEP Discussion Paper*. N.o 1335.
- GREGORY, T.; SALONOMS, A.; ZIERAHN, U. (2016). «Racing With or Against the Machine? Evidence from Europe». Discussion Paper. N.o 16-053. *Centre for European Economic Research*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2815469>
- MARCOLIN, L.; MIROUDOT, S.; SQUICCIARINI, M. (2016). «Routine Jobs, employment and technological innovation in global value chains». *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5jm5dcz2d26j-en>
- MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE (2017). «Artificial Intelligence: The Next Digital Frontier?». *Discussion Paper*. [https://doi.org/10.1016/S1353-4858\(17\)30039-9](https://doi.org/10.1016/S1353-4858(17)30039-9)
- MOKYR, J.; VICKERS, C.; ZIEBARTH, N. L. (2015). «The History of Technological Anxiety and the Future of Economic Growth: Is This Time Different?». *Journal of Economic Perspectives*. Vol. 29, n.o 3, págs. 31-50. <https://doi.org/10.1257/jep.29.3.31>

RANDSTAD RESEARCH (2016). La digitalización: ¿crea o destruye empleo? Informe anual sobre la flexibilidad laboral y el empleo.

UNCTAD (2017). «Robots, Industrialization and Inclusive Growth». *Trade and Development Report 2017. Beyond Austerity: Towards a Global New Deal*. Págs. 35-66.

WORLD TRADE ORGANIZATION (2017). *World Trade Report 2017: Trade, technology and jobs*.

Cita recomendada: LLADÓS, Josep. ¿Nos robarán los robots los puestos de trabajo? Un vistazo al mercado laboral en España. *Oikonomics* [en línea]. Noviembre 2019, no. 12, pp. 1-11. ISSN: 2339-9546. DOI: <https://doi.org/10.7238/o.n12.1911>



Josep Lladós

jlladosm@uoc.edu

Profesor agregado de los Estudios de Economía y Empresa de la UOC

Josep Lladós es licenciado y doctor en Ciencias Económicas y Empresariales, profesor agregado de los Estudios de Economía y Empresa de la UOC, director del programa interuniversitario del Doctorado en Administración y Dirección de Empresas, e investigador del grupo de investigación DigiBiz (<http://transfer.rdi.uoc.edu/es/grupo/digital-business-research-group>). Su área de conocimiento es la economía aplicada, y focaliza su actividad de investigación principalmente en los ámbitos de la economía internacional, la geografía económica y los procesos de innovación empresarial.

Los textos publicados en esta revista están sujetos –si no se indica lo contrario– a una licencia de Reconocimiento 4.0 Internacional de Creative Commons. Puede copiarlos, distribuirlos, comunicarlos públicamente, hacer obras derivadas siempre que reconozca los créditos de las obras (autoría, nombre de la revista, institución editora) de la manera especificada por los autores o por la revista. La licencia completa se puede consultar en https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES.



Dossier «Revolución 4.0: ¿progreso o precarización?»

Coordinador: Josep Lladós

ANÁLISIS SOBRE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL

Los nuevos perfiles profesionales en el marco de la Industria 4.0

Xavier Pi Palomés

Codirector del máster de Industria 4.0. Universitat Politècnica de Catalunya

Pere Tuset-Peiró

Codirector del máster de Industria 4.0. Universitat Oberta de Catalunya (UOC)

RESUMEN En este artículo se analizan los motivos que limitan la adopción de las nuevas tecnologías y frenan el proceso de transformación digital de las empresas del tejido industrial. Más allá de los aspectos técnicos o económicos, el origen de estos frenos en el marco de la Industria 4.0 radica en la falta de transversalidad de los perfiles profesionales existentes actualmente. En vista de esto, en el artículo también se analiza el impacto laboral y los nuevos perfiles profesionales que serán necesarios para hacer frente al proceso de transformación digital, así como el rol que tendrán los expertos, los grupos de trabajo y las herramientas de diagnóstico en este proceso.

PALABRAS CLAVE *transformación digital; Industria 4.0; perfiles profesionales*

The new professional profiles in the context of Industry 4.0

ABSTRACT *This article analyses the reasons that limit the adoption of new technologies and slow down the digital transformation process of companies in the industrial sector. Beyond technical or economic aspects, the origin of the slowdown lies in the lack of transversality of existing professional profiles in the context of Industry 4.0. In view of this, the article also analyses the labour impact and the new professional profiles that will be necessary to deal with the digital transformation process, as well as the role that will be played by experts, working groups and diagnostic tools in this process.*

KEYWORDS *digital transformation; industry 4.0; professional profiles*

1. Introducción: Transformación digital e Industria 4.0

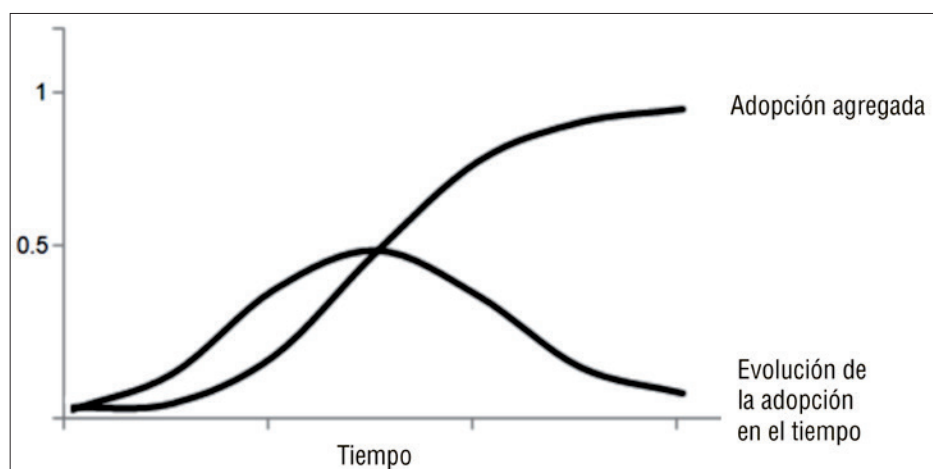
La transformación digital [1] es el proceso de adopción de las tecnologías digitales, tanto en el plano individual como colectivo, que está provocando cambios sustanciales en los distintos ámbitos donde se llevan a cabo actividades socioeconómicas. En 2015, la consultoría Boston Consulting Group [2] definió las tecnologías que son la base de este proceso de transformación digital, entre las que destacan: robótica colaborativa, simulación, Internet de las cosas, ciberseguridad, computación en la nube, impresión aditiva, realidad aumentada, analítica de datos e inteligencia artificial.

En el sector industrial, el proceso de transformación digital se conoce con el nombre de Industria 4.0 [3] y hace referencia al impacto que tiene la aplicación de estas tecnologías tanto en el diseño de los productos como en la mejora de los procesos de fabricación. Por ejemplo, la combinación de Internet de las cosas, computación en la nube e inteligencia artificial habilita el despliegue de soluciones de mantenimiento predictivo, que permiten monitorizar el funcionamiento de las máquinas de manera continua y anticiparse a un mal funcionamiento, y así evitar paradas de línea y determinar la raíz del problema [4].

Pero las mejoras pueden ir más allá de ser optimizaciones de los sistemas ya existentes. Por ejemplo, la combinación de estas tecnologías permite construir sistemas productivos con unos altos niveles de flexibilidad y de automatización, de manera que se puede producir con medidas de lote muy pequeñas, llegando al límite con el lote de medida uno [3]. Así pues, el proceso de transformación digital en el ámbito de la industria dará lugar a productos más personalizados, de mejor calidad y producidos a un coste más bajo, pero también tendrá el potencial de revolucionar los modelos de negocio de las empresas tradicionales, pasando de modelos basados en la venta de productos a modelos basados en la oferta de servicios.

Teniendo en cuenta el potencial transformador de estas tecnologías, pero también su complejidad y coste, se espera que el proceso de adopción de las mismas por parte de la industria siga el modelo de difusión de la innovación propuesto por Rogers [5]. En este modelo, las empresas se pueden clasificar siguiendo una curva normal como innovadoras (2,5%), seguidoras iniciales (13,5%), mayoría precoz (34%), mayoría tardía (34%) y atrasadas (16%)¹. Si sumamos el número de usuarios que han adoptado una tecnología a medida que avanza el tiempo (integral de la curva de difusión a lo largo del tiempo) obtenemos la curva agregada de difusión, que adquiere forma de S [5], y en la que se distinguen tres tramos de adopción: un primer tramo de crecimiento lento, un tramo de fuerte aceleración con pendiente máxima alrededor del punto medio y, finalmente, un tramo de ralentización que tiende a pendiente cero, tal y como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Curvas de Rogers de adopción y de adopción agregada de las tecnologías



1. En inglés: *innovators*, *early adopters*, *early majority*, *late majority* y *laggards*.

Así pues, las empresas que adopten estas nuevas tecnologías a tiempo podrán capturar el valor añadido que aportan (es decir, nuevos productos, aumento de calidad, reducción de costes, aumento de la eficiencia, nuevos modelos de negocio, etc.), consiguiendo así una parte más grande de la cuota de mercado actual o abriendo nuevos mercados todavía inexistentes. Por el contrario, las empresas que las adopten tarde o que no las adopten correrán el riesgo de ser superadas por sus competidores en el ámbito global y tenderán a desaparecer.

A la vista de esta realidad, en el artículo nos proponemos llevar a cabo una visión sobre el proceso de adopción de la tecnología en el marco de la Industria 4.0, y del impacto que ello tiene en los nuevos perfiles profesionales que son necesarios para facilitar la adopción de estas tecnologías.

El resto del artículo está organizado como sigue a continuación: en la sección 2 se presentan los modelos de adopción y el estado actual de la adopción tecnológica en el marco de la Industria 4.0; en la sección 3 se analiza el impacto laboral de la Industria 4.0 y los nuevos perfiles profesionales que se derivan del proceso de transformación digital; en la sección 4 se analiza la figura de los expertos, los grupos de trabajo y las herramientas de diagnóstico para impulsar y evaluar la adopción de las tecnologías digitales en el marco de la Industria 4.0; finalmente, en la sección 5 se presentan las conclusiones del artículo.

2. La adopción de la tecnología en el marco de la Industria 4.0

En esta sección presentamos un modelo que explica las palancas y los frenos que inciden en el proceso de adopción de la tecnología en el marco de la Industria 4.0, así como una revisión del nivel actual de adopción.

2.1. Modelo de adopción tecnológica

En el año 2015, la consultoría McKinsey publicó un informe [6] donde presentaba un modelo que pretendía explicar el proceso de adopción tecnológica en el marco de la Industria 4.0 mediante *drivers* (impulsores) y *levers* (palancas)². En primer lugar, los *drivers* (impulsores) son los ámbitos de interés de una empresa (beneficio económico, estructura organizativa o de procesos, y de visión y valores) susceptibles de ser transformados; por ejemplo, la gestión de los recursos y de los procesos productivos, la utilización de los activos, la gestión del trabajo, la gestión del inventario, la garantía de la calidad, el equilibrio entre la oferta y la demanda, los tiempos en mercado y los servicios posventa, entre otros. En segundo lugar, los *levers* (palancas) son aquellos ámbitos de actividad (procesos) susceptibles de ser modificados mediante la aplicación de una o más tecnologías, y que dan valor (por ejemplo, reducción de costes o de tiempos, aumento de la productividad, etc.) a los *drivers* a los que están asociados.

En general, estas palancas ya existen en la actualidad, de manera que la aplicación de las nuevas tecnologías les da más potencial transformador. Por ejemplo, una de las palancas de la Industria 4.0 sería el **mantenimiento predictivo**, que corresponde al ejemplo mencionado en la introducción. Si bien esta palanca ya existía, ha sido la combinación de las tecnologías **Internet de las cosas, computación en la nube e inteligencia artificial** lo que ha permitido darle un gran impulso y hacer que tenga impacto en el *driver* **utilización de los activos**. Ello ha sido posible gracias a la comodificación de la oferta tecnológica que ofrece productos y servicios de tipo genérico, y a unos precios asequibles. De manera similar, la palanca de **ingeniería concurrente** ha sido empoderada gracias a la combinación de la **fabricación aditiva** y de la **simulación** y a la mejora del *driver* **tiempo de mercado**.

Así pues, la utilización conjunta de las tecnologías propuestas por Boston Consulting Group y el modelo de *drivers* y *levers* de McKinsey permite determinar las relaciones entre las diferentes tecnologías y el beneficio que aportan a las empresas industriales, de manera que explica la motivación que lleva a las organizaciones a

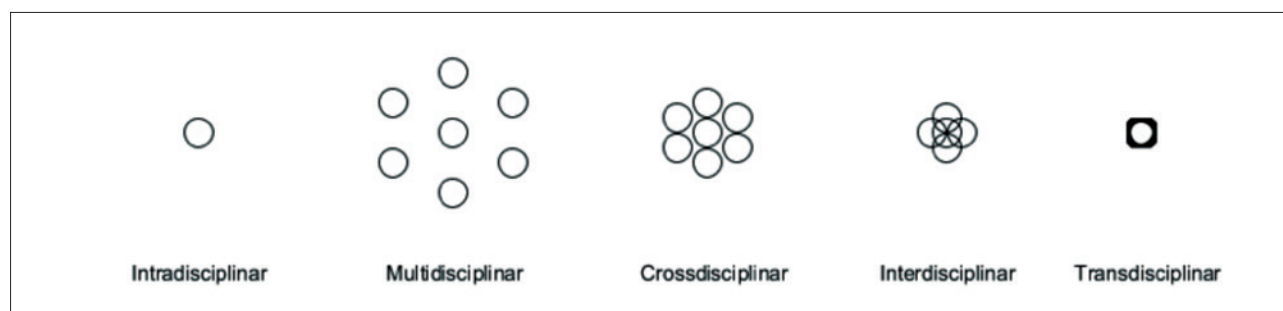
2. La noción de palanca aplicada a la gestión tiene su origen en 1997, cuando Dickhout [7] planteó la analogía con una palanca mecánica que se puede situar en una posición a voluntad y que permite controlar un sistema según las necesidades de cada momento.

adoptarlas para mejorar sus productos, procesos productivos y procesos de gestión. En cambio, estos modelos no especifican cuál es el proceso que deben seguir las empresas industriales para adoptar estas tecnologías y obtener los beneficios esperados, según los informes de estas consultorías. Este es un punto crítico en la adopción de la Industria 4.0 en el tejido industrial, puesto que, como hemos dicho antes, es la combinación de diferentes tecnologías la que permite activar ciertas palancas para dar valor a un impulsor específico.

2.2. Frenos en la adopción tecnológica

Siguiendo con el símil mecánico, en contraposición a las palancas, que tienen una vocación impulsora, también se han identificado frenos a la adopción de las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0. Por ejemplo, varios estudios realizados por PricewaterhouseCoopers [8], KPMG [9], la Comisión Europea [10], la VDI y la ASME [11] indican que el freno más importante para la implementación efectiva de la Industria 4.0 es la falta de perfiles profesionales adecuados, y que esta es consecuencia directa de la carencia de transversalidad de los perfiles actuales. Esta noción de transversalidad se puede formalizar según el modelo de Jensenius [12, 13], que propone varios niveles de disciplinariedad de manera visual, tal y como se muestra en la figura siguiente.

Figura 2. Modelo de disciplinariedades de Jensenius y Stember



Cada uno de los elementos del modelo de Jensenius y Stember [12, 13] de la Figura 2 se puede definir tal y como se describe a continuación:

- **Intradisciplinar:** personas trabajando dentro de una misma disciplina.
- **Multidisciplinar:** personas de distintas disciplinas que colaboran cada una con sus conocimientos y sus métodos.
- **Crossdisciplinar:** visualización de una disciplina desde la perspectiva de otra.
- **Interdisciplinar:** integración de conocimientos y de métodos de distintas disciplinas realizando una síntesis de varios enfoques.
- **Transdisciplinar:** creación de una unidad de marcos intelectuales más allá de las perspectivas disciplinarias.

Teniendo en cuenta esta visión de las disciplinariedades, el freno en la adopción tecnológica se puede analizar siguiendo el modelo de Anthony [14], que plantea los tres niveles clásicos de la gestión de las organizaciones desde el punto de vista de la toma de decisiones **estratégico, táctico y operacional**, que se pueden asociar al plazo temporal (largo, medio y corto) y también a los perfiles profesionales (directivos, gestores, técnicos) que los ejecutan.

Por un lado, en el plano estratégico vemos que hay grandes dificultades para tener una visión clara y liderazgo, puesto que se debe tener en cuenta que la dirección de la empresa es clave para impulsar la adopción de estas tecnologías en los diferentes ámbitos, seleccionando las palancas a utilizar y definiendo qué nivel de intensidad debe aplicarse a cada palanca. En este sentido, la falta de conocimiento del potencial y de la aplicabilidad de las

nuevas tecnologías, y todavía más importante, de sus combinaciones, reduce la voluntad de realizar inversiones por que se desconoce cuál es el coste de implantación y el tiempo de retorno de la inversión.

Por otro lado, por lo que respecta al plan táctico, las dificultades se derivan de la estructura organizativa de las empresas, que crean silos que dificultan la colaboración para el desarrollo y la implantación de proyectos n-disciplinares. Según Tett [15], el efecto «silo» surge cuando la naturaleza de los retos a afrontar necesita colaboración entre varias disciplinas, y esto a menudo requiere una voluntad de colaboración entre los distintos departamentos de la empresa. La falta de empatía entre diferentes perfiles profesionales implicados en el proceso de transformación digital puede incluso perjudicar el éxito de las pruebas piloto que deben validar la tecnología. Teniendo en cuenta esto, para solucionarlo habrá que adaptar las estructuras organizativas y ofrecer incentivos para la colaboración con el fin de fomentar la adopción de las tecnologías 4.0.

Finalmente, por lo que se refiere al plano operacional, uno de los problemas es la convergencia de conocimientos y de competencias entre los diferentes perfiles profesionales. Básicamente esto se refiere a los perfiles del ámbito de las operaciones (OT - *Operations Technologies*) y de las tecnologías de la información y las comunicaciones (IT - *Information Technologies*). El reto de lograr la denominada convergencia IT/OT fue planteado por Rockwell Automation en 2007 [16], y es uno de los retos más importantes de transversalidad de la Industria 4.0, ya que además de los elementos de conocimiento intervienen aspectos culturales, como por ejemplo la percepción del tiempo o del riesgo, que son diferentes entre ambos colectivos [17]. Para solucionarlo deberá ofrecerse formación específica de cariz transversal para garantizar que los profesionales tienen las competencias para adoptar las tecnologías [18].

El instrumento más importante para hacer efectiva esta convergencia entre los mundos IT y OT es el denominado gemelo digital (*digital twin*, o DT), aplicable tanto a los productos como a los sistemas de producción, que consiste en un modelo digital con todas las características constructivas del activo en cuestión (denominado *digital master*, o DM), combinado con un sistema de información a partir de los datos recogidos de la realidad mediante sensorica, o comunicado por el propio activo (denominado *digital shadow*, o DS). Según el modelo de DT propuesto por Stark [19], los DM y los DS se relacionan mediante algoritmos, como por ejemplo la simulación, la analítica de datos o la inteligencia artificial. El concepto DT incluye la modelización, la simulación y el internet de las cosas, que comprenden la electrónica empotrada, el *software* y las telecomunicaciones. El DT permite desarrollar productos y soluciones en el mundo digital (virtual) sin los riesgos del mundo físico, aplicando técnicas provenientes del mundo del *software* basadas en muchas iteraciones de prueba y de error a alta velocidad, y después pasar al mundo físico con el número mínimo de errores potenciales. Para que esto sea posible, los modelos de simulación deben verificarse y validarse convenientemente utilizando modelos basados en la estadística. Además, el DT, debido al potencial de la simulación, permite la transmisión tanto del conocimiento de tipo explícito como de tipo tácito, este último el más difícil de gestionar [20]. Los DT tendrán un gran impacto en el desarrollo de la transversalidad en la medida en que se extienda la interoperabilidad entre ellos, permitiendo su utilización conjunta en soluciones integradas.

Así pues, la transversalidad de los perfiles profesionales afecta a los ámbitos estratégico, táctico y operacional de la empresa y limita la capacidad de adopción de las tecnologías en todos los ámbitos. Por ejemplo, en el caso del mantenimiento predictivo es necesario el despliegue de dispositivos con capacidad de sensorización y de comunicación para recopilar los datos de la máquina en cuestión, pero también hace falta una infraestructura de computación en la nube que permita almacenarlas, y un conjunto de aplicaciones que utilicen algoritmos de inteligencia artificial que los combinen y extraigan el conocimiento que pueda utilizarse para detectar posibles fallos. Además, la integración de este proceso de generación, transporte y procesado de los datos debe hacerse de manera segura, ya que en algunos casos puede tratarse de información sensible para la empresa, y en otros puede dejar una puerta abierta a ciberataques que detengan el proceso productivo. Es fácil ver, pues, como la responsabilidad del despliegue de estas tecnologías recae en diferentes departamentos de la empresa. Siguiendo con el ejemplo anterior, el despliegue de una solución de mantenimiento predictivo requerirá, como mínimo, la intervención de los departamentos de operaciones, mantenimiento y tecnologías de la información y la comunicación. De manera simplificada, podemos decir que los primeros serán los encargados de definir los elementos que es necesario sensorizar, los segundos se encargarán de desplegarlos y de mantenerlos, y los terceros serán los encargados de proporcionar la infraestructura para recibir, almacenar y procesar los datos. A pesar de los beneficios que pueden aportar las tecnologías digitales en el ámbito de la industria, debe tenerse en cuenta que su aplicación también incrementa la complejidad de los

sistemas y su incertidumbre. Por ejemplo, a medida que los sistemas industriales están conectados a internet para llevar a cabo la monitorización y el control, crece el riesgo de sufrir un ciberataque.

2.3. Estado actual de la adopción tecnológica

En los últimos años, el número de iniciativas de impulso a la Industria 4.0 no ha dejado de crecer. En el año 2018, en la Unión Europea había dieciocho iniciativas aprobadas impulsadas por varios gobiernos. Para coordinarlas y empoderarlas está la iniciativa llamada Digitizing European Industry (DEI), con una dotación de 5.000 millones de euros del programa Horizon 2020 [21], vinculada a una de las cinco prioridades más importantes de la Unión, denominada Digital Single Market.

Pero a pesar del interés y del impacto potencial que tiene la adopción de las diferentes tecnologías en el marco de la Industria 4.0, la realidad es que el proceso de adopción de estas tecnologías no sigue el ritmo previsto inicialmente [22], tanto por lo que respecta a la tasa de adopción de las tecnologías como a la profundidad de las transformaciones que implica su adopción. De hecho, según este estudio, solo el 29% de las empresas industriales han empezado a desplegar estas tecnologías en sus procesos (las que podemos considerar innovadoras y seguidoras iniciales), mientras que el 71% restante se divide entre las que han empezado a hacer pruebas piloto (mayoría precoz) y las que no han empezado ninguna actividad en esta dirección (mayoría tardía y atrasadas). También se constata que las pyme presentan, en general, niveles de adopción inferiores a los de las grandes empresas [23], y que los niveles de adopción varían según los países [24]. Esto nos sitúa aún en el primer tramo de la curva-S, de manera que los tejidos industriales todavía no han entrado en el tramo de fuerte aceleración de manera generalizada.

A la vista de estas dificultades para integrar las tecnologías de la Industria 4.0, en 2017 la VDMA (asociación industrial de ingenieros mecánicos de Alemania) publicó un documento de trabajo [25] en el que propone un modelo para facilitar la adopción de las tecnologías. Este modelo consta de cinco fases: preparación, análisis, creación, evaluación e introducción. En la fase de preparación se crean equipos de trabajo que tengan conocimientos del mercado y de los procesos productivos de la empresa. En la fase de análisis se identifican las competencias existentes dentro de la empresa respecto a las tecnologías de la Industria 4.0 y se comparan con la competencia. En la fase creativa se generan ideas que pueden resultar en proyectos que permitan la mejora de los procesos y de los productos de la empresa. En la fase de evaluación se seleccionan los proyectos que se considera relevantes y se construye un equipo encargado de llevar a cabo un despliegue piloto para comprobar la viabilidad técnica y económica del proyecto. Finalmente, en la fase de implementación los proyectos que han demostrado la viabilidad técnica y económica pasan a desplegarse.

Así pues, siguiendo las recomendaciones de adopción de la tecnología, las empresas más innovadoras de todo el mundo han empezado a trazar sus planes de adopción según su sector y en función de sus necesidades técnicas y de su capacidad de inversión. Principalmente se han definido y llevado a cabo pruebas piloto para validar el interés de cada tecnología según el ámbito de aplicación y el retorno de la inversión esperado, así como para entender cómo estas tecnologías pueden escalar el volumen requerido. Además, las empresas también han aprovechado para empezar a formar a sus empleados sobre los aspectos técnicos y los fundamentos directivos relacionados con el proceso de transformación digital. Pero según el informe de KPMG de 2018 «A reality check for today's C-Suite on Industry 4.0» [26], el tiempo de solo experimentación se está acabando, ya que donde ha habido una proliferación de pruebas piloto al final se tiende a ir hacia «silos», que a menudo acaban siendo una sobrecarga porque no aportan claridad en la visión estratégica.

La dificultad en la adopción de las tecnologías digitales no radica en su novedad en sí, ya que, como se ha visto, prácticamente todas ellas existen desde hace años. La cuestión es que muchas de ellas han llegado simultáneamente a un nivel de madurez suficiente que ha abierto escenarios a muchas posibles nuevas combinaciones con potencial transformador. Según Frank Diana [27], se han creado unas condiciones muy favorables para la combinación de tecnologías que él denomina *combinatorial scenarios* y que pronostican una curva-S con una **pendiente muy pronunciada**. Si la velocidad de generación de nuevas combinaciones potenciales es mayor que la velocidad de exploración y de evaluación de las mismas, aumenta la dificultad para tener una visión estratégica clara que permita adoptarlas y sacarles partido.

3. El impacto laboral y los nuevos perfiles profesionales en el marco de la Industria 4.0

La cuestión de los perfiles profesionales y de la Industria 4.0 se define por una situación de realimentación permanente. Por un lado, según Kagermann [3], la Industria 4.0 transformará radicalmente los perfiles competenciales y profesionales del ámbito industrial. Por otro lado, las organizaciones están demandando perfiles profesionales distintos o nuevos para sacar adelante la transformación digital. Así pues, en esta sección analizamos el impacto laboral, los nuevos perfiles profesionales y las necesidades formativas en el marco de la Industria 4.0.

3.1. Impacto laboral de la Industria 4.0

Los estudios sobre el impacto laboral de la Industria 4.0 se pueden dividir en dos grandes grupos, y en este apartado se presenta una síntesis de resultados cuantitativos de los estudios identificados.

El primer grupo está orientado a identificar y cuantificar los puestos de trabajo que tienen una alta probabilidad de ser automatizados. El trabajo seminal de este primer grupo es el estudio realizado por Frey y Osborne [28], iniciado en 2013 en la Universidad de Oxford y publicado en 2017, en el que se relaciona una lista de 702 puestos de trabajo, y la probabilidad de cada uno de ser automatizado. Otros estudios a destacar son los publicados por Arntz, Gregory y Zierahn (OCDE) en 2016 [29], por la consultoría McKinsey en 2017 [30], y el estudio de Morrón (CaixaBank) en 2016 [31]. A pesar de que estos estudios dan resultados distintos según la zona geográfica, en general hay el consenso de que cerca de un 40% de los puestos de trabajo tienen un 70% de probabilidades de ser automatizados en un horizonte temporal de alrededor de una década.

El segundo grupo de estudios está orientado a identificar los posibles efectos de creación y de destrucción de puestos de trabajo, detectando tendencias en cuanto a nuevos perfiles demandados. Los cinco estudios más remarcables son los dos de ámbito global publicados por el World Economic Forum en 2016 [21] (posteriormente actualizado en la versión de 2018 [32]) y por el estudio de McKinsey en 2017 [33]; los dos de ámbito alemán publicados por Vogler-Ludwig, Düll y Kriechel en 2016 [34]; y el de Boston Consulting Group en 2015 [2]. Por último, en el ámbito catalán cabe destacar el estudio realizado por Hernández-Gascón en 2018 [35]. De manera resumida, los estudios de impacto de la Industria 4.0 realizados en el ámbito global del World Economic Forum y de McKinsey coinciden en predecir una destrucción de ocupación en términos globales. En el primero se vaticina una destrucción de siete millones de puestos de trabajo y una creación de dos millones de nuevos puestos, dando una destrucción neta de cinco millones, con horizonte 2020. En el segundo estudio se pronostica una destrucción global del 15% de puestos de trabajo con horizonte 2030, pero a pesar de que se destaca que se crearán nuevos puestos en diferentes áreas (ingeniería, ciencia, salud, informática, directivas, docencia y creativas), no se cuantifica el volumen global de los nuevos puestos creados. En cambio, según los estudios de impacto realizados en el ámbito alemán y catalán, la Industria 4.0 creará más puestos de trabajo de los que se destruirán. El estudio de Boston Consulting Group pronostica la creación de 210.000 puestos de trabajo cualificados con horizonte 2025, y el de Vogler-Ludwig estima la creación de 263.000 puestos de trabajo con horizonte 2030 como consecuencia de la Industria 4.0. En el caso catalán, el estudio de Hernández-Gascón vaticina la creación de 13.000 puestos de trabajo cualificados con horizonte 2030.

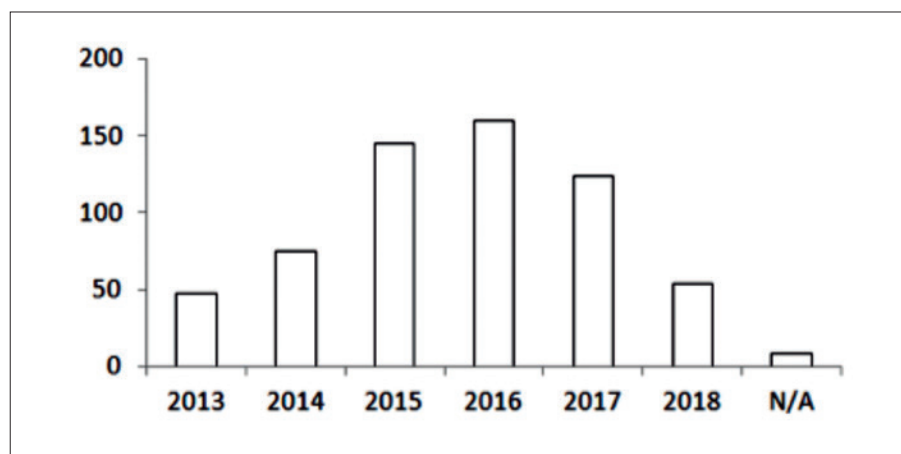
3.2. Nuevos perfiles profesionales en el marco de la Industria 4.0

Además del debate sobre la creación y la destrucción de puestos de trabajo resultantes del proceso de transformación digital, otro de los aspectos clave en el proceso de adopción de las tecnologías de la Industria 4.0 es la emergencia de nuevos perfiles profesionales. En este sentido, a principios de esta década apareció la figura del CDO (*Chief Digital Officer*), identificado por la consultoría Gartner [36] como una nueva figura directiva del denomi-

nado C-Suite [37], y que tiene el rol de formular el plan de transformación digital de la empresa para que el resto del equipo directivo lo adopte y se lleve a cabo en los distintos niveles operativos. Así pues, según el modelo de Jensenius y Stember, el CDO asume un modelo de transformación digital de la empresa basado en una visión solo multidisciplinar, donde el resto del equipo directivo pertenece a diferentes disciplinas y no comparte conocimientos ni métodos para llevarlo a cabo.

Si bien esta aproximación resultó atractiva inicialmente puesto que minimizaba el impacto del proceso de transformación sobre el resto de departamentos, el informe de PwC de 2019 [38] realizado sobre 2.500 empresas demuestra el declive de la figura del CDO, tal y como aparece en la Figura 3. Como se puede ver, de 2013 a 2016 se pasó de 50 a 150 contrataciones de este perfil, mientras que de 2016 a 2018 se pasó de 150 a 50 contrataciones. Este crecimiento y declive de la figura del CDO es debido a que el proceso de transformación digital es más profundo y requiere un nivel de conocimiento y de implicación de todas las partes que atraviesan de manera inevitable los diversos «silos» que pueda haber en la organización [39].

Figura 3. Contrataciones anuales de CDO. Fuente: Estudio PwC [38]



Por lo tanto, la naturaleza del problema de la digitalización de la industria es de transversalidad, tanto en el plano estratégico como operacional, y afecta al conjunto de la organización. En este sentido, el informe de 2015 de la asociación de ingenieros alemana VDI y de la asociación de ingenieros americana ASME [11] advierte claramente que los perfiles profesionales dominantes de la Industria 4.0 serán interdisciplinarios en detrimento de los solo multidisciplinarios³.

3.3. Estudio sobre las necesidades formativas en Alemania

A la vista de las necesidades de perfiles interdisciplinarios, en 2019 la Fundació IMPULS ha publicado un trabajo de investigación que tiene como objetivo definir los perfiles profesionales de la Industria 4.0 [40]. Para ello, los investigadores han realizado un total de 224 cuestionarios a los principales grupos de interés (a estudiantes y profesores universitarios, así como a líderes técnicos y directores generales de empresas) con el objetivo de comprender las competencias técnicas e interpersonales necesarias para desarrollar proyectos en el contexto de la Industria 4.0.

3. Se considera la transdisciplinariedad como una situación no óptima debido al principio económico de coste de oportunidad que, según la teoría de la ventaja comparativa, establece que lo óptimo se obtiene cuando cada actor concentra un determinado nivel de esfuerzo en sus mejores habilidades (*skills*).

El resumen de los resultados está publicado en el informe de 2019 «Ingenieros para la Industria 4.0» [4], y como ejemplo de los resultados obtenidos, en el estudio hay una pregunta que se centra en las competencias complementarias del dominio de las TIC (tecnologías de la información y la comunicación) que serían necesarias para los ingenieros industriales en el contexto de la Industria 4.0. Los resultados muestran que las habilidades técnicas relacionadas con la seguridad de la información y las comunicaciones (58%), la recopilación, el almacenamiento y la preparación de datos (58%), y los algoritmos (49%) son habilidades consideradas muy útiles o imprescindibles para los futuros ingenieros industriales.

Si bien este estudio se centra en Alemania, y por lo tanto no es representativo de la realidad industrial de nuestro país, es indicativo de que debe replantearse la formación técnica, tanto en el plano universitario como de ciclos formativos, teniendo en cuenta las nuevas competencias técnicas y las competencias interpersonales que requiere la Industria 4.0, y que se han descrito anteriormente. En caso de no hacerlo, o de hacerlo solo parcialmente, corremos el riesgo de frenar el ritmo de adopción de estas tecnologías en nuestro tejido industrial y poner en peligro la continuidad de las empresas de nuestro país.

3.4. Estudio de los perfiles profesionales en el sector del mueble y la madera

En la misma línea de las competencias requeridas por la Industria 4.0, pero centrado en el sector del mueble y la madera en Cataluña, la fundación CENFIM (Centre de Difusió Tecnològica Fusta i Moble de Catalunya) ha publicado en 2019 un estudio sobre el impacto de la transformación digital en la industria del mueble de madera. Este informe se ha realizado en el marco del proyecto europeo DIGIT-FUR [41] y presenta un mapeo del impacto sobre cada una de las tareas de los perfiles profesionales actuales, tanto de carácter técnico como comercial, de las nueve tecnologías transformadoras de la Industria 4.0 propuestas en el modelo de Boston Consulting Group, y también con las veintiséis palancas de la Industria 4.0 propuestas en el modelo de McKinsey.

Fruto del trabajo realizado, el estudio concluye que de las siete competencias esenciales identificadas para el trabajador de planta del sector del mueble y la madera, solo uno queda igual, cuatro se modifican y dos desaparecen. En cambio, para los directores comerciales, de las nueve competencias identificadas, dos quedan iguales y siete se modifican. A la vista de esta proyección, el estudio hace recomendaciones en el ámbito de la formación, tanto en los ámbitos universitarios como en el de la formación profesional, y prevé la aparición de nuevos perfiles profesionales, en particular el **de directivo de transformación digital** (en inglés, *Digital Transformation Manager*).

Como continuación del proyecto DIGIT-FUR, en 2019 también se ha puesto en marcha el proyecto europeo DITRAMA (www.ditrama.eu), que tiene como finalidad identificar y definir las habilidades y las competencias de este nuevo perfil. El proyecto apenas ha empezado, pero en su desarrollo ya se están tratando conceptos como el gemelo digital (del inglés, *digital twin*), la servitización y las plataformas colaborativas, la innovación abierta y la economía circular, entre otros. Además, según el trabajo llevado a cabo hasta el momento, el perfil del DTM puede encuadrarse en cada dominio del C-Suite, de manera que la transformación digital de la organización se puede hacer simultáneamente desde cada área mediante la colaboración transversal de los diferentes DTM, y no desde una única área comandada por un CDO, lo que se corresponde con la necesidad de transversalidad.

4. Expertos, grupos de trabajo y herramientas de diagnosis

En esta sección se analiza la figura de los expertos y de los grupos de trabajo en la Industria 4.0, que está dando lugar a la aparición de herramientas de diagnosis dirigidas a las empresas y a las organizaciones, con el fin de medir y evaluar su adopción. Finalmente, se analiza la relación entre las necesidades formativas y los diversos tipos de perfiles profesionales considerados.

4.1. La figura del experto y de los grupos de trabajo

La figura del experto ha resurgido con fuerza en el marco de la Industria 4.0 como resultado de la construcción de un cuerpo de conocimiento que combina las diferentes disciplinas de la ingeniería para hacer frente al proceso de transformación digital de los productos y de los procesos. Además de participar como actor principal del proceso de transformación digital de empresas del sector industrial, los expertos también participan como miembros de los diferentes grupos de trabajo que se han creado alrededor de la Industria 4.0.

Según el informe de KPMG [9], en 2016 estaban identificados varios grupos de trabajo de expertos orientados al desarrollo de la Industria 4.0. El primero de ellos fue impulsado por el gobierno alemán para preparar la iniciativa *Industrie 4.0*, presentada en 2013 a la canciller Angela Merkel en el contexto de la Feria de Hannover. Desde entonces, las asociaciones empresariales alemanas como la VDMA (asociación de empresas de ingeniería mecánica), la ZVEI (asociación de empresas fabricantes de equipos eléctricos y electrónicos) o la Bitkom (asociación de empresas de informática y telecomunicaciones) han continuado las tareas del grupo de trabajo inicial [9], dando lugar a la llamada *Industrie Plattform 4.0* que además incluye a la administración pública, sindicatos, empresas y asociaciones profesionales como la VDI (equivalente en la ingeniería industrial) o la VDE (equivalente a las ingenierías informáticas y telecomunicaciones). El segundo grupo de expertos, es *Industrial Internet Consortium (IIC)* [9], una entidad privada con sede en los Estados Unidos que dispone de una estructura de grupos de trabajo de ámbito global con una potencia similar a la *Plattform* alemana. Entre otros, el IIC se encarga de organizar el *IOT Solutions World Congress*, que se celebra anualmente en Barcelona durante el mes de octubre.

Tanto la *Plattform* como el IIC impulsan la formalización de la Industria 4.0, mediante las denominadas arquitecturas de referencia que definen los componentes y su integración de manera agnóstica respecto a las tecnologías. Por un lado, tenemos la *Reference Architecture Model Industry 4.0 (RAMI 4.0)* [42], recogida como estándar IEC/PAS 60833, y por otro lado, tenemos la *Industrial Internet Reference Architecture (IIRA)* [43]. Además, ambas organizaciones han creado un grupo de trabajo transversal para definir un mapeo entre las dos arquitecturas, facilitando que puedan utilizarse complementariamente. Teniendo en cuenta que por razones históricas RAMI 4.0 tiene raíces en el mundo OT (*Operations Technologies*) e IIRA tiene raíces en el mundo IT (*Information Technologies*), esta unificación facilitará la convergencia IT/OT, que es aspecto clave en la adopción de la Industria 4.0.

Finalmente, en el ámbito catalán debe destacarse que en 2014 se constituyó la *Comissió Indústria 4.0*, formada inicialmente por las asociaciones y colegios profesionales de los ingenieros industriales, informáticos y de telecomunicaciones, a la que se añadieron los ingenieros agrónomos, los ingenieros de caminos y los ingenieros químicos y de nuevos materiales [44]. Esta comisión cuenta con los grupos de trabajo de robótica, IoT y sistemas empotrados, fabricación aditiva, intralógica, *software* e integración, agricultura, inteligencia artificial y de nuevos materiales. En este período, los grupos de trabajo de la comisión han publicado diversos documentos vinculados a la Industria 4.0, como un *status report* [44], una guía de adopción para pymes y un documento base para crear una herramienta de diagnóstico.

4.2. El rol de las hojas de ruta y de las herramientas de diagnóstico

Los marcos de referencia RAMI 4.0 e IIRA combinados con los modelos de adopción de las tecnologías permiten que la comunidad de expertos y los grupos de trabajo puedan construir un discurso transversal consistente de la Industria 4.0. Pero solo con marcos de referencia no es suficiente para avanzar en el proceso de transformación digital, debido a que son conceptuales y agnósticos respecto a las tecnologías específicas. Así pues, para llegar a la concreción también han surgido las herramientas de diagnóstico y las hojas de ruta. Por un lado, las herramientas de diagnóstico se definen como un cuestionario sobre la posición de las organizaciones respecto a un conjunto de palancas y a un modelo conceptual que traduce las respuestas en resultados cuantificables. Por otro lado, las hojas de ruta se definen como una sucesión en el tiempo de niveles de intensidad en la aplicación de un conjunto de palancas previamente seleccionadas y priorizadas según las necesidades de cada empresa.

La aplicación de las hojas de ruta y de las herramientas de diagnóstico favorecen la adopción de la Industria 4.0, de manera que en los últimos tres años han aparecido varias herramientas de diagnóstico como la de la Acatech [45], la HADA del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo [46] o la de PwC [47]. En general, sin embargo, estas herramientas son poco transparentes, lo que ha provocado que la comunidad de expertos no las haya podido utilizar, comparar, combinar y hacer evolucionar abiertamente. A su vez, esto ha dificultado enormemente la adopción de métodos de definición y la puesta en práctica de hojas de ruta mínimamente consensuadas.

Así pues, con el objetivo de facilitar el acceso a estas herramientas de diagnóstico, la Comissió Indústria 4.0, de ingenieros de Cataluña, presentó en octubre de 2018 una propuesta abierta (www.comissioindustria40.cat/documents) que ha dado lugar a un cuestionario en línea. Este cuestionario se puede utilizar como un instrumento básico para realizar una primera reflexión sobre el grado de adopción respecto a varias palancas de la Industria 4.0. Además, gracias a que sigue un modelo abierto, este cuestionario también ha servido de base para otras herramientas de diagnóstico, como es el caso de la Eina de nivell de maduresa digital de la iniciativa Terrassa 4.0 (www.terrassa.cat/eina-nivell-de-maduresa-digital).

4.3. La relación entre las necesidades formativas y los tipos de perfiles profesionales

A la vista de los modelos y de los resultados de los diferentes estudios que se han presentado en este artículo, en la Tabla 1 proponemos un mapeo⁴ entre los perfiles profesionales (técnicos, gestores, directivos, expertos y estudiantes) y los niveles de la empresa (estratégico, táctico y operacional). El objetivo de esta tabla es mostrar cuáles deben ser las líneas de actuación prioritarias en cada ámbito, y que debe permitir impulsar la adopción de la Industria 4.0, y superar los frenos de falta de visión estratégica clara y la carencia de perfiles profesionales con la transversalidad adecuada, acelerando así la llegada del segundo tramo de la curva-S de manera generalizada.

4. Es importante destacar que en algunos casos los distintos tipos de perfiles se pueden ejercer simultáneamente. Por ejemplo, el perfil de tipo estudiante se puede ejercer junto con otros de manera permanente bajo un modelo de formación continuada.

Tabla 1. Relación de necesidades formativas y tipos de perfiles profesionales

	Nivel estratégico	Nivel táctico	Nivel operacional	Ámbito
Técnicos		Es necesario que adquieran conocimientos transversales para poder combinar las diferentes tecnologías.	Ejecutan las hojas de ruta. Actúan transversalmente con otros técnicos.	Organización
Gestores	Deben luchar contra los «silos informativos y de conocimiento» siguiendo las directrices de los directivos.	Definen hojas de ruta. Utilizan herramientas de diagnóstico y de seguimiento.	Supervisan y apoyan la ejecución operacional de las hojas de ruta Actúan transversalmente con otros gestores.	
Directivos	Deben luchar contra los «silos organizativos y de mentalidad». Introducen transversalidad digital en el C-Suite	Interpretan los resultados de las herramientas de diagnóstico y de seguimiento. Crean las condiciones para que se puedan definir hojas de ruta	Apoyan en el ámbito táctico la ejecución de las hojas de ruta.	
Expertos	Deben luchar para aumentar su transversalidad más allá de su diligencia en palancas específicas Asesoran a organismos públicos en programas de desarrollo y a organizaciones.	Desarrollan metodologías para definir y seguir hojas de ruta. Desarrollan herramientas de diagnóstico.	Participan en publicaciones. Realizan tareas docentes y participan en acontecimientos Promueven transversalidad digital a todos niveles (C-Suite, gestores y técnicos y estudiantes)..	Tejido industrial
Estudiantes	Hay que actualizar la base común de las ingenierías basada en álgebra, cálculo, física, química y dibujo técnico a los nuevos tiempos	Debido a la falta de estos perfiles en la actualidad, los profesionales de la industria se están formando en programas de posgrado	Realizan prácticas o los trabajos de fin de estudios en empresas.	

Resumidamente, podemos concluir que los perfiles del tipo estudiante requieren reorientación en cuanto a conocimientos transversales (salvo los programas de posgrado específicos), el perfil directivo debe adaptarse incorporando transversalidad estratégica, el perfil de gestor de transformación digital es emergente y sus funciones están todavía por definir, los perfiles técnicos (tanto de ingenieros como de formación profesional) serán muy demandados pero con nuevos elementos de transversalidad y, finalmente, el perfil de experto es emergente pero como colectivo todavía actúa con poca transversalidad.

5. Conclusiones

Como hemos visto, la relación causa efecto entre Industria 4.0 y los perfiles profesionales es bidireccional, y da lugar a una situación de realimentación mutua. Por un lado, la Industria 4.0 tendrá impacto en la mayoría de perfiles profesionales y modificará la mayoría de sus competencias, añadiendo nuevas y eliminando algunas de las existentes. Además, también se crearán nuevos perfiles profesionales de manera integral, como por ejemplo el *Digital Transformation Manager*. Por otro lado, los perfiles profesionales impactarán sobre la Industria 4.0, ya que el tejido industrial que disponga de ella podrá transformarse antes y con garantías de éxito, lo que le permitirá continuar siendo competitivo en un mundo global.

No obstante, según los estudios realizados, todavía no se ha llegado de manera generalizada al segundo tramo de la curva-S, en la que se prevé la entrada en una fase de fuerte aceleración, afectando a las pequeñas y medianas empresas, que representan el porcentaje más alto del volumen total de empresas. Varios estudios coinciden en que los frenos más importantes para la entrada en esta fase son la falta de visión estratégica clara y la carencia de perfiles profesionales transversales adecuados. Teniendo en cuenta esto, uno de los grandes retos asociados a la transformación en el ámbito de la industria es precisamente la falta de perfiles profesionales que comprendan la tecnología y a la vez sean capaces de entender su aplicación en el ámbito concreto.

Como resultado del análisis realizado, se han identificado los siguientes desajustes entre los requisitos de la Industria 4.0 y los perfiles profesionales que existen actualmente:

- Carencia de técnicos y gestores con los conocimientos digitales y las competencias transversales requeridas para realizar proyectos de transformación digital.
- Carencia de fundamentos conceptuales digitales de aplicación transversal en directivos que deben liderar una transformación digital con una visión estratégica clara.
- Carencia de herramientas disponibles creadas o apoyadas por los expertos que permitan diseñar y ejecutar hojas de ruta de adopción de la Industria 4.0.
- Carencia de actualización en la base común de los planes de estudio de las ingenierías que permita tener profesionales con los conocimientos y las competencias requeridos.

Además, en este artículo se han identificado las causas que relacionan la dificultad en la adopción de la Industria 4.0 con la cuestión de los perfiles profesionales, sobre base de la distinción de cinco perfiles profesionales clave: directivo, gestor, técnico, estudiante (formación reglada y formación continua) y experto. De cada perfil se han identificado las tareas que tienen incidencia en los dos frenos más importantes, y a partir de ellas se han identificado los desfases en cuanto a perfiles profesionales que ocasionan este freno, llegando a las siguientes conclusiones:

- La falta de herramientas de diagnóstico transparentes y compartidas es una limitación en la transversalidad de los expertos, y es crítica puesto que frena que los directivos puedan tener una visión estratégica clara, condenándolos a seguir avanzando en la adopción de las tecnologías de la Industria 4.0 solo con pruebas piloto.
- La formación continuada, tanto de posgrado como de capacitación profesional, es la vía más importante para modificar los perfiles profesionales existentes en la actualidad, y para crear los nuevos perfiles requeridos mientras no se actualicen los planes de estudios de las formaciones regladas.
- Los gemelos digitales (*digital twins*) se perfilan como una herramienta clave para desarrollar transversalidad en sentido amplio, tanto en los ámbitos formativos como en los planos estratégico, táctico y operacional de las organizaciones y del propio tejido industrial, a la espera de que se generalice la interoperabilidad entre ellos.

Bibliografía

- [1] WESTERMAN, G.; CALM JANE, C; BONNET, D., *et al.* (2011). «Digital transformation: A road-map for billion-dollar organizations». MIT Center for Digital Business y Capgemini Consulting [en línea]. https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2017/07/Digital_Transformation__A_Road-Map_for_Billion-Dollar_Organizations.pdf
- [2] GERBERT, P.; LORENZ, M. RÜßMANN, M., *et al.* (2015). «Man and Machine in Industry 4.0. How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025?». The Boston Consulting Group [en línea]. http://englishbulletin.adapt.it/wp-content/uploads/2015/10/BCG_Man_and_Machine_in_Industry_4_0_Sep_2015_tcm80-197250.pdf
- [3] KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. (2013). «Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group». Acatech [en línea].

- <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>
- [4] INDUSTRIE 4.0 FORUM (2016). «Industrie 4.0 in practice: Solutions for industrial applications». *VDMA Industrie 4.0 newsletter*. VDMA [en línea].
https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/26342484/industrie_40_in_practice_2016_1529498623105.pdf/f5883098-521d-0b50-2a97-b1471ff13ace
- [5] ROGERS, E. M. (1983). *Diffusion of Innovations* (3.ª ed.). The Free Press (1983). Nueva York.
- [6] MCKINSEY & COMPANY (2015). «Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector». McKinsey Digital [en línea]. http://www.forschungsnetzwerk.at/downloadpub/mck_industry_40_report.pdf
- [7] DICKHOUT, R. (1997). «All I ever needed to know about change management I learned at engineering school». *McKinsey Quarterly* [en línea]. <https://www.mckinsey.com/business-functions/organization/our-insights/all-i-ever-needed-to-know-about-change-management-i-learned-at-engineering-school>
- [8] PwC (2018). «Global Digital Operations 2018 Survey». Strategy & Global [en línea]. <https://www.strategyand.pwc.com/industry4-0>
- [9] HEINITZ, H. V.; BREMICKER, M. (2016). «The Factory of the Future. Industry 4.0 - The challenges of tomorrow». KPMG [en línea]. <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2016/05/factory-future-industry-4.0.pdf>
- [10] KROLL, H., et al. «An analysis of drivers, barriers and readiness factors of EU companies for adopting advanced manufacturing products and technologies». Comisión Europea.
https://ec.europa.eu/growth/content/analysis-drivers-barriers-and-readiness-factors-eu-companies-adopting-advanced-1_en
- [11] GEHRKE, L., et al. (2015). «A Discussion of Qualifications and Skills in the Factory of the Future: A German and American Perspective». *White paper*. VDI/ASME [en línea]. https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details?tx_vdi_publications_publicationdetails%5Bpublication%5D=117
- [12] JENSENIUS, A. R. (2012). «Disciplinarity: intra, cross, multi, inter, trans» [en línea]. <http://www.arj.no/2012/03/12/disciplinarity-2>
- [13] STEMBER, M. (1991). «Advancing the social sciences through the interdisciplinary enterprise». *The Social Science Journal*. Vol. 28, n.º 1, págs. 1-14.
[https://doi.org/10.1016/0362-3319\(91\)90040-B](https://doi.org/10.1016/0362-3319(91)90040-B)
- [14] ANTHONY, G; SCOTT MORTON, M. (1971). «A framework for management information systems». *Sloan Management Review*. N.º 13, págs. 55-70.
- [15] TETT, G. (2015). «The Silo Effect». The Guardian [en línea]. <https://www.theguardian.com/books/2015/oct/17/the-silo-effect-why-putting-everything-in-its-place-isnt-such-a-bright-idea-gillian-tett-review>
- [16] CONTROL ENGINEERING STAFF (2007). «Benefits suggested with convergence of IT, controls». *Control Engineering Daily News* [en línea]. <https://www.controleng.com/articles/benefits-suggested-with-convergence-of-it-controls>
- [17] STOUFFER, K; LIGHTMAN, S.; PILLITTERI, V., et al. (2015). «Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security». *NIST Special Publication*. N.º 800-82. National Institute of Standards and Technology [en línea].
<https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-82/rev-2/final>
<https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-82r2>
- [18] HARP, D. R.; GREGORY-BROWN, B. (2013). «IT/OT Convergence. Bridging the Divide». *Nex Defense Whitepaper* [en línea]. <https://ics.sans.org/media/it-ot-convergence-nexdefense-whitepaper.pdf>
- [19] STARK, R., et al. (2017). «Innovations in digital modelling for next generation manufacturing system design». *CIRP Annals*. Vol. 66, n.º 1, págs. 169-172.
<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.045>
- [20] NONAKA, I. (1994). «A dynamic theory of organizational knowledge creation». *Organization Science*. Vol. 5, n.º 1, págs. 14-37.
<https://doi.org/10.1287/orsc.5.1.14>
- [21] WORLD ECONOMIC FORUM (2016). «The Future of Jobs. Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution». *Global Challenge Insight Report* [en línea]. <http://reports.weforum.org/future-of-jobs-2016>

- [22] WORLD ECONOMIC FORUM (2018). «The Next Economic Growth Engine: Scaling Fourth Industrial Revolution Technologies in Production». *White paper* [en línea]. http://www3.weforum.org/docs/wef_technology_and_innovation_the_next_economic_growth_engine.pdf
- [23] CÁMARA DE COMERCIO, INDUSTRIA, SERVICIOS Y NAVEGACIÓN DE ESPAÑA (2018). «España Empresa Digital - La digitalización como palanca de competitividad de la PYME». *TIC Cámaras*. Unión Europea [en línea]. https://empresadigital.camara.es/sites/empresadigital.camara.es/files/generica/informe_espana_empresa_digital_0.pdf
- [24] AULBUR, W.; ARVIND, C. J.; BIGGHE, R. (2016). «Skill Development for Industry 4.0». Roland Berger [en línea]. <http://www.globalskillsummit.com/whitepaper-summary.pdf>
- [25] ANDERL, R.; FLEISCHER, J. (2016). «Guideline Industrie 4.0: Guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses». VDMA [en línea]. <https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/0/guideline%20Industrie%204.0.pdf/70abd403-cb04-418a-b20f-76d6d3490c05>
- [26] HARRIS, P.; HENDRICKS, M.; LOGAN, E. A.; JURAS, P. (2018). «A reality check for today's C-suite on Industry 4.0 The time for experimentation is ending». KPMG [en línea]. <https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2018/11/a-reality-check-for-c-suite-leaders-on-industry-4-0.html>
- [27] DIANA, F. (2015). «Disruptive Power Lies at the Intersections». *Frank Diana's Blog* [en línea]. <https://frankdiana.net/2015/05/18/disruptive-power-lies-at-the-intersections>
- [28] FREY, C. B.; OSBORNE M. A. (2017). «The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?». *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 114, n.º C, págs. 254-280 [en línea]. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>
- [29] ARNTZ, M.; GREGORY, T.; ZIERAHN, U. (2016). «The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis». *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*. N.º 189. OECD Publishing. Paris [en línea]. <https://doi.org/10.1787/5jlz9h56dvq7-en>
- [30] MANYIKA, J.; CHUI, M.; MIREMADI, M., *et al.* (2017). «A Future that Works: Automation, Employment and Productivity». McKinsey & Company [en línea]. <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/Digital%20Disruption/Harnessing%20automation%20for%20a%20future%20that%20works/MGI-A-future-that-works-Executive-summary.ashx>
- [31] MORRÓN, A. (2016). «Llegará la Cuarta Revolución Industrial en España?». *Las nuevas tecnologías y el mercado de trabajo*. CaixaBank Research. <https://www.caixabankresearch.com/llegara-la-cuarta-revolucion-industrial-a-espana-d3>
- [32] WORLD ECONOMIC FORUM (2018). «The Future of Jobs Report 2018». <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2018>
- [33] MANYIKA, J.; LUND, S.; CHUI, M., *et al.* (2017). «Jobs Lost, Jobs Gained: Workforce Transitions in a time of Automation. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/jobs-lost-jobs-gained-what-the-future-of-work-will-mean-for-jobs-skills-and-wages>
- [34] VOGLER-LUDWIG, K.; DÜLL, N.; KRIECHEL, B. (2016). «The German labour market 2030. Economy and labour market in the digital age – Forecast 2016». ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/316829962_the_german_labour_market_2030_-_economy_and_labour_market_in_the_digital_age_-_forecast_2016
- [35] FONTRODONA, J.; MORRÓN, A.; CASTANY, L. (2018). «L'impacte laboral de la Indústria 4.0 a Catalunya». *Papers de l'Observatori de la Indústria*. N.º 3. Departament d'Empresa i Coneixement de la Generalitat de Catalunya [en línea]. https://www.accio.gencat.cat/web/.content/banconeixement/documents/altres_publicacions/03_papers_observatori_industria_40.pdf
- [36] COONEY, M. (2012). «Gartner: Do you have a Chief Digital Officer? You're gonna need one. Gartner. Network World [en línea]. <https://www.networkworld.com/article/2223365/gartner--do-you-have-a-chief-digital-officer---you-re-gonna-need-one.html>

- [37] HARRY, A. (2017) «C-Level Executives Mailing List: CEO, CFO, COO, CMO, CTO, CIO, CAO, CXO, CBO, CDO, CISO, CHRO, CSO, CLO, CPO and more...». Medium Corporation [en línea].
<https://medium.com/@addisonharry7/c-level-ejecutivas-mailing-list-ceo-cfo-coo-cmo-cto-cio-cao-cxo-cbo-cdo-ciso-chro-cso-clo-cpo-and-more...>
- [38] PÉLADEAU, P.; ACKER, O. (2019) «Have we reached “peak” chief digital officer?». Strategy & Part of the PwC network.
<https://www.strategyand.pwc.com/cdo>
- [39] GREENBAUM, K. (2019). «How Five C-Suite Roles Are Being Reshaped By Business 4.0». Forbes [en línea].
<https://www.forbes.com/sites/forbeshumanresourcescouncil/2019/02/08/how-five-c-suite-roles-are-being-reshaped-by-business-4-0/#4can602dc264c>
- [40] IMPULS (2019). «Engineers for Industrie 4.0». VDMA [en línea]. https://bildung.vdma.org/documents/14969637/30466795/impuls%2520compact_english.pdf/fed4ab19-d5be-5c35-d54b-6fb12ae0d280
- [41] RUMIGNANI, M.; RODRIGO, J.; SOLANA, J. (2019). «Digit-FUR. Impactos de la transformación digital en la industria del mueble de madera». DIGIT-FUR [en línea].
http://asmadera.com/wp-content/uploads/2019/02/Impactos-de-la-transformaci%C3%B3n-digital-en-la-industria-del-mueble-de-madera_Febrero-2019.pdf
- [42] ADOLPHS, P.; EPPLE, U. (2015). «GMA Status Report: Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)». VDI/VDE/ZVEY [en línea].
<https://www.zvei.org/en/press-media/publications/gma-status-report-reference-architecture-model-industrie-40-rami-40>.
- [43] LIN, S-W.; MILLER, B.; DURAND, J., et al. (2019) «The Industrial Internet of Things. Volume G1: Reference Architecture». Industrial Internet Consortium [en línea]. <https://www.iiconsortium.org/iira.htm>.
- [44] COMISSIÓ INDÚSTRIA 4.0 (2017). «Indústria 4.0». Comissió Indústria 4.0 de ingenieros de Cataluña [en línea]. <https://www.comissioindustria40.cat/documents>.
- [45] SCHUH, G.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER, J., et al. (ed.) (2017). «Industrie 4.0 Maturity Index». Acatech [en línea].
https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf
- [46] MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO. HADA - Herramienta de Autodiagnóstico Digital Avanzada. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo [en línea].
<https://hada.industriaconectada40.gob.es/hada/register>
- [47] PWC. «Industry 4.0 - Enabling Digital Operations. Self Assessment» [en línea].
<https://i40-self-assessment.pwc.de/i40/landing>

Cita recomendada: PI PALOMÉS, Xavier; TUSET PEIRÓ, Pere. Los nuevos perfiles profesionales en el marco de la Industria 4.0. *Oikonomics* [en línea]. Noviembre 2019, no. 12, pp. 1-17. ISSN: 2339-9546. DOI: <https://doi.org/10.7238/o.n12.1912>



Xavier Pi Palomés

Codirector del máster en Industria 4.0 de la Universitat Politècnica de Catalunya

xpi@enginyers.net

Ingeniero Industrial por la Universitat Politècnica de Catalunya (1988). Actualmente es profesor y codirector del máster en Industria 4.0 de la UPC School y profesor colaborador del máster en Industria 4.0, impartido conjuntamente por los Estudios de Informática, Multimedia y Telecomunicación de la Universitat Oberta de Catalunya y la Escola Superior Politècnica-TecnoCampus, centro adscrito a la Universitat Pompeu Fabra. También es miembro de la Comissió Indústria 4.0 de ingenieros de Cataluña.



Pere Tuset-Peiró

Codirector del máster en Industria 4.0 de la Universitat Oberta de Catalunya (UOC)

peretuset@uoc.edu

Ingeniero de Telecomunicación por la Universitat Politècnica de Catalunya (2011) y doctor en Tecnologías de la información y las comunicaciones por la Universitat Oberta de Catalunya (2015). Actualmente es profesor y codirector del máster en Industria 4.0, impartido conjuntamente por los Estudios de Informática, Multimedia y Telecomunicación de la Universitat Oberta de Catalunya y la Escola Superior Politècnica-TecnoCampus, centro adscrito a la Universitat Pompeu Fabra.

Los textos publicados en esta revista están sujetos –si no se indica lo contrario– a una licencia de Reconocimiento 4.0 Internacional de Creative Commons. Puede copiarlos, distribuirlos, comunicarlos públicamente, hacer obras derivadas siempre que reconozca los créditos de las obras (autoría, nombre de la revista, institución editora) de la manera especificada por los autores o por la revista. La licencia completa se puede consultar en https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES.



Dossier «Revolución 4.0: ¿progreso o precarización?»
Coordinador: Josep Lladós

GOBERNANZA INTELIGENTE

Retos y oportunidades del uso de la inteligencia artificial en las administraciones públicas

Agustí Cerrillo i Martínez

Catedrático de Derecho Administrativo de los Estudios de Derecho y Ciencia Política (UOC)

RESUMEN La moda de la inteligencia artificial está llegando a las administraciones públicas, a pesar de que lo hace a un ritmo más lento que en otros sectores. Hoy ya hay algunas administraciones públicas que usan la inteligencia artificial en el análisis de datos, la toma de decisiones, la detección de fraudes e irregularidades o la prestación de servicios públicos. El uso de la inteligencia artificial genera numerosos retos a las administraciones públicas que deben abordarse, como por ejemplo la opacidad, los sesgos y la discriminación, la mengua de las garantías en la tramitación de los procedimientos administrativos, la responsabilidad por los daños causados en el uso de la inteligencia artificial o su impacto en la ocupación pública. La inteligencia artificial es uno de los fundamentos de la gobernanza inteligente que debe comprender a todas las personas para contribuir a un desarrollo sostenible.

PALABRAS CLAVE inteligencia artificial; administración pública; algoritmos; datos

Challenges and opportunities in the use of artificial intelligence in public administration

ABSTRACT *The trend of artificial intelligence is arriving in public administrations, even if this is happening at a slower pace than in other sectors. Today, there are already some public administrations which use artificial intelligence in data analysis, decision-making, fraud detection and irregularities, and the provision of public services. The use of artificial intelligence creates a number of challenges for public administrations that need to be addressed, such as the current lack of transparency, the biases and discrimination, the decrease in guarantees in the processing of administrative procedures, the responsibility for damages caused by the use of artificial intelligence, and its impact on public employment. Artificial intelligence is one of the foundations of intelligent governance; it must include all people in order to contribute to a sustainable development.*

KEYWORDS *artificial intelligence; public administration; algorithms; data*

Introducción

La inteligencia artificial ha sido identificada como una de las cinco tecnologías disruptivas que debe transformar nuestras sociedades en los próximos años (United States Government Accountability Office, 2018, 26) e impulsar el crecimiento económico y el progreso social (Executive Office of the President National Science and Technology Council Committee on Technology, 2016, 3).

La inteligencia artificial persigue atribuir a los ordenadores la capacidad de realizar acciones que serían consideradas como inteligentes si fueran desarrolladas por personas al emular las facultades humanas en máquinas (Kaplan 2017, 1). Hoy en día, la inteligencia artificial ya tiene numerosos usos tanto en el ámbito económico como social mediante aplicaciones tan diversas como la traducción de textos, la conducción de vehículos sin conductor, la producción de bienes por robots o el reconocimiento automático de imágenes.

La moda de la inteligencia artificial también está llegando a las administraciones públicas. Si bien todavía no lo está haciendo con la fuerza de un tsunami, como se ha observado en otros sectores (Partnership for Public Service and IBM Center for The Business of Government, 2018, 1; Valero Torrijos, 2019), no podemos ignorar los usos que la inteligencia artificial ya está teniendo en la toma de decisiones y en la prestación de los servicios públicos. Tampoco podemos ignorar el potencial que puede tener en el funcionamiento de las administraciones públicas en los próximos años. En las siguientes páginas expondremos algunas de las aplicaciones que la inteligencia artificial ya tiene.

Además de los usos que las mismas administraciones públicas pueden hacer de la inteligencia artificial, estas también pueden contribuir significativamente a su impulso. En los últimos años, diferentes instituciones han participado activamente en el impulso del desarrollo de la industria de la inteligencia artificial mediante varias estrategias sobre inteligencia artificial. En esta dirección podemos referirnos a la Comisión Europea, con su comunicación *Generar confianza en la inteligencia artificial centrada en el ser humano*; al Gobierno de España, con su Estrategia española de I+D+I en Inteligencia Artificial; o el gobierno de la Generalitat de Catalunya, con el Plan estratégico de Inteligencia Artificial CATALONIA.AI. Estos documentos comparten su diagnóstico sobre el papel de la inteligencia artificial en el futuro más cercano, definen varios objetivos estratégicos e identifican las aportaciones que pueden hacer las instituciones públicas¹.

En particular, una de las contribuciones de las administraciones públicas al desarrollo de la inteligencia artificial es poner a disposición de la industria y de la sociedad sus datos. Al efecto, no podemos pasar por alto que los datos son el nuevo oro o petróleo de siglo XXI (Mayer-Schönberger y Cukier, 2013; *The Economist*, 2017) sobre el que se basa el desarrollo actual de la inteligencia artificial, y que las administraciones públicas disponen de grandes volúmenes de datos que generan en el desarrollo de su actividad, que pueden alimentar los algoritmos (Commission Staff Working, 2018). Como ha puesto de manifiesto la Comisión Europea, «la innovación basada en los datos es un motor fundamental de crecimiento y empleo que puede impulsar significativamente la competitividad europea en el mercado mundial [...]; el uso inteligente de los datos tiene un efecto transformador en todos los sectores de la economía y el sector público» (Comisión Europea, 2018).

Aun así, no podemos menospreciar los riesgos que la extensión de la inteligencia artificial está generando entre las instituciones públicas. Después nos referiremos a ello brevemente. Para responder a estos retos, las administraciones públicas deben adoptar las medidas que más allá de garantizar la seguridad jurídica faciliten la innovación pública con la incorporación de la inteligencia artificial en su funcionamiento. En esta dirección, será necesario que las administraciones públicas no solo incorporen estas tecnologías, sino también que se doten de un marco adecuado que supere la regulación vigente del uso de los medios electrónicos más propio de otros momentos tecnológicos (Valero Torrijos, 2019).

1. Documentos accesibles en: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2019/es/com-2019-168-f1-es-main-part-1.pdf>; http://www.ciencia.gob.es/stfls/micinn/ciencia/ficheros/estrategia_inteligencia_artificial_idi.pdf [Consulta julio de 2019].

En las próximas páginas expondremos qué oportunidades puede ofrecer la inteligencia artificial a las administraciones públicas y qué retos puede generar su extensión a las mismas. Finalmente, a modo de conclusión, indicaremos el impacto que la inteligencia artificial puede tener en la gestión de las administraciones públicas.

1. Las oportunidades de la inteligencia artificial en las administraciones públicas

La inteligencia artificial ya está teniendo algunos usos en las administraciones públicas, y en un futuro todavía tendrá un mayor impacto (Eggers *et al.*, 2018, 3) transformando su funcionamiento y la manera cómo desarrolla su actividad (Partnership for Public Service and IBM Center for The Business of Government, 2018, 1).

En la actualidad, las administraciones públicas españolas están medianamente preparadas para incorporar la inteligencia artificial, según el *Government Artificial Intelligence Readiness Index 2019*, que la sitúa en la posición 36 en el plano mundial². De hecho, no podemos ignorar que su uso todavía es limitado en nuestras administraciones públicas (Maciejewski, 2017).

No obstante, ya encontramos diferentes usos que las administraciones públicas están dando a la inteligencia artificial en su funcionamiento y en la prestación de los servicios públicos. A continuación hacemos una breve referencia a algunos de ellos.

En primer lugar, las administraciones públicas están empleando la inteligencia artificial para analizar los datos que tienen a su disposición. Así, hay administraciones públicas que utilizan algoritmos para predecir el riesgo de incendios en los edificios (Atlanta) o en los bosques (Ministerio de Agricultura), para identificar los locales que deben ser inspeccionados (Las Vegas o Chicago), o policías que usan algoritmos para detectar denuncias falsas (Predipol).

En segundo lugar, las administraciones públicas utilizan el procesamiento del lenguaje natural y los algoritmos de aprendizaje automático para relacionarse con la ciudadanía. En esta dirección, hay administraciones públicas que usan sistemas de respuesta automatizada a preguntas formuladas en lenguaje natural, o sistemas de diálogo a partir del reconocimiento de la voz para prestar los servicios de atención, asesoramiento e información a la ciudadanía. Por ejemplo, el U.S. Citizenship and Immigration Services responde a las preguntas formuladas por la ciudadanía mediante un *chatbot* (Emma), y revisa las solicitudes formuladas por la ciudadanía (portal Federal Business Opportunities).

En tercer lugar, las administraciones públicas usan la inteligencia artificial para personalizar los servicios públicos. Así, algunas administraciones públicas están empezando a trabajar en la personalización de los servicios públicos a partir de la elaboración de perfiles sobre el comportamiento de los usuarios y el análisis de los datos personales de la ciudadanía (por ejemplo, el proyecto MyGov Social del Consorci Administració Oberta de Catalunya).

En cuarto lugar, las administraciones públicas ya están empezando a utilizar la inteligencia artificial en el proceso de toma de decisiones para respaldar, por ejemplo, a la policía mediante sistemas de predicción (Predpol) o a los responsables de prisiones para determinar los permisos de salida o la libertad condicional de los reclusos (RisCanvi). Así como también para tomar decisiones, como por ejemplo el otorgamiento de subvenciones o la evaluación del profesorado de las escuelas públicas (Nueva York).

En quinto lugar, las administraciones públicas también usan la inteligencia para detectar fraudes y casos de corrupción. Como ejemplos, podemos referirnos a la herramienta de lucha contra el fraude de la Oficina Nacional de Lucha contra el Fraude del Organismo Autónomo de la Inspección de Trabajo y Seguridad Social y Ocupación, o al sistema de alertas contra la corrupción de la Administración de la Comunidad Valenciana.

Finalmente, la inteligencia artificial también es el fundamento de la prestación de determinados servicios públicos, como por ejemplo el transporte, la seguridad, la sanidad o los servicios sociales.

2. <https://www.oxfordinsights.com/ai-readiness2019> [Consulta: julio de 2019]. De todos modos, no podemos ignorar que en la edición de 2017 España estaba situada en la posición 12.

2. Los retos de la inteligencia artificial para las administraciones públicas

El uso de la inteligencia artificial genera numerosos retos a las administraciones públicas.

En primero lugar, las administraciones públicas deben garantizar la transparencia de los algoritmos. Al respecto, no podemos ignorar que la inteligencia artificial puede generar opacidad en las administraciones públicas (Cerrillo Martínez, 2019). En efecto, a medida que se incrementa la complejidad técnica de la inteligencia artificial (por ejemplo, mediante el aprendizaje automático *–machine learning–* o las redes neuronales), es más complejo, si no imposible, conocer cómo funcionan los algoritmos o qué datos utilizan, dando lugar a lo que se conoce como las cajas negras, *black boxes* (Diakopoulos, 2014, 14; Pasquale, 2015). Además, en ocasiones la opacidad del algoritmo se debe a la voluntad de reservar su contenido para proteger otros intereses, como por ejemplo los secretos empresariales de sus diseñadores o la competitividad de sus productores (Brauneis y Goodman, 2017), y también para evitar que el conocimiento de cómo funciona el algoritmo permita eludir su aplicación o para garantizar la confidencialidad en la toma de decisiones públicas. Para dar respuesta a la opacidad, las administraciones públicas pueden adoptar diferentes medidas, como publicar información sobre los algoritmos y su funcionamiento, o utilizar software abierto en su diseño, o declararlo de fuentes abiertas. En última instancia, pueden dar una explicación sobre cómo funcionan los algoritmos y los datos que usan, y una motivación de los resultados obtenidos (Lepri *et al.*, 2017).

En segundo lugar, las administraciones públicas deben reducir el impacto negativo que el uso de la inteligencia artificial puede tener en la protección de los datos personales y en la privacidad de las personas (Crawford y Schultz, 2014, 96). Las administraciones públicas pueden usar los algoritmos para tomar decisiones automatizadas y elaborar perfiles de las personas sin su consentimiento o su conocimiento. Para evitar los perjuicios que estas actuaciones pueden generar, el Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento general de protección de datos) reconoce el derecho de toda persona a no ser objeto de una decisión basada únicamente en el tratamiento automatizado, incluida la elaboración de perfiles, que produzca efectos jurídicos en ella o le afecte significativamente de manera similar, excepto cuando esté autorizado por el Derecho de la Unión o de los estados miembros, que se aplique al responsable del tratamiento y que establezca así mismo medidas adecuadas para salvaguardar los derechos y las libertades y los intereses legítimos del interesado, o se base en el consentimiento explícito del interesado (Edwards y Veale, 2017; Wachter *et al.*, 2017)³.

En tercer lugar, las administraciones públicas deben evitar los sesgos y las discriminaciones en las decisiones que toman. No podemos ignorar que en los últimos años hemos tenido conocimiento de casos de discriminación generados por algoritmos utilizados por aplicaciones como Google Photos o Twitter⁴. Los sesgos y las discriminaciones pueden estar en los algoritmos, o pueden surgir por datos usados que no tienen la calidad necesaria o que contienen errores. Para evitar estas situaciones, las administraciones públicas pueden adoptar medidas diversas, como por ejemplo garantizar la calidad de los datos que se utilizan, fomentar la participación de los interesados en el diseño de los algoritmos, elaborar análisis de riesgos o realizar auditorías (Lepri, Oliver, Letouzé, Pentland y Vinck, 2017, 8; Mantelero, 2018).

En cuarto lugar, las administraciones públicas deben reforzar las garantías de los interesados en la toma de decisiones basadas en algoritmos, particularmente cuando nos encontramos ante decisiones discrecionales. En este sentido, Ponce reclama que, por razones de oportunidad, se reserve la toma de determinadas decisiones a los humanos, que se haga una *reserva de humanidad* (Ponce Solé, 2019).

3. Artículo 22 Reglamento general de protección de datos.

4. Nos referimos a casos como los de la noticia «Google arregla su algoritmo “racista” borrando a los gorilas» en *El País*, 15 de enero de 2018, en la que se explica que el algoritmo de Google Photos confundía personas negras con simios; o «Microsoft retira un robot que hizo comentarios racistas en Twitter» en *El País*, 24 de marzo de 2016, en la que se informa sobre el *chatbot* Tay de Twitter, que aprendió conductas racistas, sexistas y xenófobas de otros usuarios.

En quinto lugar, las administraciones públicas deben aclarar el régimen de responsabilidad por los daños que pueda generar el uso de la inteligencia artificial. Al respecto, no podemos ignorar el debate entre los juristas sobre quiénes deben reparar los daños causados por robots u otras máquinas basadas en la inteligencia artificial. En el ámbito administrativo, buena parte de los problemas detectados no tienen lugar por el carácter objetivo de la responsabilidad patrimonial, a pesar de las necesarias limitaciones en la aplicación de este régimen cuando los daños generados por los algoritmos no se hayan podido prever o evitar según el estado de los conocimientos de la ciencia o de la técnica existentes en el momento de su producción, o cuando haya una concurrencia de causas.

En última instancia, las administraciones públicas deben reflexionar sobre el impacto que el uso de la inteligencia artificial tendrá en la ocupación pública. Al respecto, debe tenerse presente que varios estudios ya indican que el 47% de los trabajos actuales están en alto riesgo de ser automatizados en los próximos 10 o 20 años por la incorporación de la inteligencia artificial (Frey y Osborne, 2017, 38), lo que puede provocar que en la Administración pública acaben desapareciendo numerosos puestos de trabajo en áreas muy diversas, aunque también se generarán nuevas profesiones (Kaplan, 2017, 120-121), se reforzarán determinadas competencias de las personas y se exigirán nuevos perfiles profesionales (Ramió Matas, 2018, 403-404) lo que requerirá nuevos sistemas de selección y de gestión (Galindo Caldés, 2019).

3. Reflexiones finales: hacia la gobernanza inteligente

La inteligencia artificial puede contribuir activamente a mejorar el análisis de los datos que genera la actividad de las administraciones públicas para incrementar la calidad de la toma de decisiones públicas y la eficacia de las políticas públicas, así como para mejorar la prestación de los servicios públicos.

La inteligencia artificial es uno de los fundamentos de la gobernanza inteligente, un nuevo modelo de gestión pública que persigue que las administraciones públicas puedan servir a la ciudadanía de manera más rápida y precisa (Executive Office of the President National Science and Technology Council Committee on Technology, 2016, 5). Este modelo de gestión pública debe permitir a las administraciones públicas mejorar su actuación y establecer nuevos canales de relación con la ciudadanía y las empresas para obtener mejores resultados y mayor apertura y rendición de cuentas mediante el análisis y el uso de la información que está en su poder (Cerrillo Martínez, 2018).

Para que las aportaciones de la inteligencia artificial a las administraciones públicas sean el fundamento de una auténtica transformación, hay que garantizar que comprendan a todas las personas para que la inteligencia artificial pueda contribuir activamente a la construcción de un desarrollo sostenible (United Nations Secretary-General's Independent Expert Advisory Group on a Data Revolution for Sustainable Development, 2014). A la vez, es necesario que se adopten las medidas oportunas para garantizar la seguridad, jurídica y técnica, en un contexto de innovación (Valero Torrijos, 2019).

Bibliografía

- BRAUNEIS, R.; GOODMAN, E. P. (2017). «Algorithmic Transparency for the Smart City». *Yale Journal of Law & Technology*. Núm. 20, pág. 104-176. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3012499>
- CERRILLO I MARTÍNEZ, A. (2018). «Datos masivos y datos abiertos para una gobernanza inteligente». *El profesional de la información*. Vol. 27, núm. 5, pág. 1128-1135. <https://doi.org/10.3145/epi.2018.sep.16>
- CERRILLO I MARTÍNEZ, A. (2019). «Com obrir les caixes negres de les Administracions públiques? Transparència i rendició de comptes en l'ús dels algoritmes». *Revista catalana de dret públic*. Núm. 56, pág. 13-28.

- COMISIÓN EUROPEA (2018). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. *Hacia un espacio común europeo de datos*. COM (2018) 232 final.
- COMMISSION STAFF WORKING (2018). Document Impact Assessment accompanying the document Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the re-use of public sector information. COM (2018) 234 final - SWD (2018) 128 final.
- CRAWFORD, K.; SCHULTZ, J. (2014). «Big Data and Due Process: Toward a Framework to Redress Predictive Privacy Harms». *Boston College Law Review*. Núm. 55, pág. 93-128.
- DIAKOPOULOS, N. (2014). «Algorithmic-Accountability: the investigation of Black Boxes». *Tow Center for Digital Journalism*. <https://doi.org/10.1080/21670811.2014.976411>
- EDWARDS, L.; VEALE, M. (2017). «Slave to the Algorithm: Why a Right to an Explanation Is Probably Not the Remedy You Are Looking For». *Duke Law & Technology Review*. Núm. 16, pág. 18-84. <https://doi.org/10.31228/osf.io/97upg>
- EGGERS, W. D.; SCHATSKY, D.; VIECHNICKI, P. (2018). *AI-augmented government. Using cognitive technologies to redesign public sector work*. Nueva York.
- EXECUTIVE OFFICE OF THE PRESIDENT NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL COMMITTEE ON TECHNOLOGY (2016). *Preparing for the Future of Artificial Intelligence*. Washington.
- FREY, C. B.; OSBORNE, M. A. (2017). «The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation?». *Technological forecasting and social change*. Núm. 114, pág. 254-280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>
- GALINDO CALDÉS, R. (2019). «Big data e inteligencia artificial en la gestión de los recursos humanos del sector público». *Revista catalana de dret públic*. Núm. 58, pág. 49-63.
- KAPLAN, J. (2017). *Inteligencia artificial. Lo que todo el mundo debe saber*. Zaragoza: Teell.
- LEPRI, B.; OLIVER, N.; LETOUZÉ, E.; PENTLAND, A. et al. (2017). «Fair, Transparent, and Accountable Algorithmic Decision-making Processes». *Philosophy & Technology*. Vol. 31, núm. 3, pág. 1-17. <https://doi.org/10.1007/s13347-017-0279-x>
- MACIEJEWSKI, M. (2017). «To do more, better, faster and more cheaply: using big data in public administration». *International Review of Administrative Sciences*. Núm. 83, pág. 120-135. <https://doi.org/10.1177/0020852316640058>
- MANTELERO, A. (2018). «AI and Big Data: A blueprint for a human rights, social and ethical impact assessment». *Computer Law & Security Review*. Vol. 34, núm. 4, pág. 754-772. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2018.05.017>
- MAYER-SCHÖNBERGER, V.; CUKIER, K. (2013). *Big data. La revolución de los datos masivos*. Madrid: Turner.
- PARTNERSHIP FOR PUBLIC SERVICE AND IBM CENTER FOR THE BUSINESS OF GOVERNMENT (2018). *The Future Has Begun. Using Artificial Intelligence to Transform Government*. Washington.
- PASQUALE, F. (2015). *The Black Box Society: The Secret Algorithms That Control Money and Information*. Cambridge: Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674736061>
- PONCE SOLÉ, J. (2018). «Inteligencia artificial, Derecho administrativo y reserva de humanidad: algoritmos y procedimiento administrativo debido tecnológico». *Revista General de Derecho Administrativo*. Núm. 50.
- RAMIÓ MATAS, C. (2018). «El impacto de la inteligencia artificial y de la robótica en el empleo público». *GIGAPP Estudios / Working Papers*. Núm. 98, pág. 401-421.
- THE ECONOMIST (2017). «Data is giving rise to a new economy. How is it shaping up?».
- UNITED NATIONS SECRETARY-GENERAL'S INDEPENDENT EXPERT ADVISORY GROUP ON A DATA REVOLUTION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (2014). *A World That Counts: Mobilising The Data Revolution for Sustainable Development*.
- UNITED STATES GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE (2018). *Trends affecting Government and Society*. Washington.
- VALERO TORRIJOS, J. (2019). «Las garantías jurídicas de la inteligencia artificial en la actividad administrativa desde la perspectiva de la buena administración». *Revista catalana de dret públic*. Núm. 58, pág. 82-96.
- WACHTER, S.; MITTELSTADT, B.; FLORIDI, L. (2017). «Why a Right to Explanation of Automated Decision-Making Does Not Exist in the General Data Protection Regulation». *International Data Privacy Law*. Vol. 7, núm. 2, pág. 76-99. <https://doi.org/10.1093/idpl/ix005>

Cita recomendada: CERRILLO MARTÍNEZ, Agustí. Retos y oportunidades del uso de la inteligencia artificial en las administraciones públicas. *Oikonomics* [en línea]. Noviembre 2019, no. 12, pp. 1-7. ISSN: 2339-9546. DOI: <https://doi.org/10.7238/o.n12.1913>



Agustí Cerrillo i Martínez

acerrillo@uoc.edu

Estudios de Derecho y Ciencia Política (UOC)

Catedrático de Derecho Administrativo en la Universitat Oberta de

Catalunya. Actualmente es el Síndic de Greuges de la UOC.

Investigador principal del proyecto «Retos jurídicos del uso de datos masivos para el fomento de la innovación y la buena administración a través de la inteligencia artificial». Programa Estatal de I+D+I Orientada a los Retos de la Sociedad (DER2017-85595-R), y del proyecto «La innovación en la prestación de los servicios públicos a través de la personalización y prestación proactiva mediante el uso de datos masivos y la inteligencia artificial», financiando por la Escuela de Administración Pública de Catalunya.

Ha investigado y publicado artículos y monografías sobre la administración electrónica, la transparencia pública y la difusión y la reutilización de información pública mediante internet, el uso de la inteligencia artificial en las administraciones públicas, la gobernanza pública y la integridad pública y la prevención de la corrupción.

Entre sus publicaciones sobre el impacto de la inteligencia artificial en la Administración pública y el Derecho administrativo destacan «Com obrir les caixes negres de les Administracions públiques? Transparència i rendició de comptes en l'ús dels algoritmes» (Revista catalana de dret públic, núm. 56, 2019), y «El impacto de la inteligencia artificial en el Derecho administrativo ¿Nuevos conceptos para nuevas realidades técnicas?» (Revista General de Derecho Administrativo, núm. 50, 2019).

Los textos publicados en esta revista están sujetos –si no se indica lo contrario– a una licencia de Reconocimiento 4.0 Internacional de Creative Commons. Puede copiarlos, distribuirlos, comunicarlos públicamente, hacer obras derivadas siempre que reconozca los créditos de las obras (autoría, nombre de la revista, institución editora) de la manera especificada por los autores o por la revista. La licencia completa se puede consultar en https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES.



Dossier «Revolución 4.0: ¿progreso o precarización?»

Coordinador: Josep Lladós

LOS LÍMITES DEL AVANCE TECNOLÓGICO

El juez artificial: ¿próxima parada?¹

David Martínez Zorrilla

Profesor agregado de los Estudios de Derecho y Ciencia Política de la UOC

RESUMEN Los últimos avances tecnológicos, y especialmente la inteligencia artificial, están afectando de manera muy profunda a los más diversos ámbitos, entre ellos el jurídico, en sus más variadas manifestaciones. El presente trabajo analiza algunos de los más recientes desarrollos en inteligencia artificial en el campo de la aplicación del Derecho, a fin de discernir hasta qué punto nos estamos acercando a la ya no tan utópica idea del juez artificial y de la aplicación automatizada del Derecho. El análisis se estructura en tres ámbitos diferenciados, aunque complementarios: en primer lugar, se analiza el aspecto conceptual (qué distintos elementos y actividades implica la aplicación judicial del Derecho, con el fin de determinar qué procesos sería necesario automatizar para poder hablar de un «juez artificial»); en segundo lugar, se presentan brevemente algunas recientes tecnologías y aplicaciones que de algún modo incidirían en la aplicación del Derecho, con el fin de determinar en qué punto nos encontraríamos respecto a un proceso de automatización; y por último, se reflexiona brevemente acerca de los posibles efectos positivos o adversos que conllevaría una automatización de la aplicación del Derecho.

PALABRAS CLAVE aplicación del Derecho; inteligencia artificial; informática jurídica; juez artificial

The AI judge: next stop?

ABSTRACT *The recent advances in technology, and particularly artificial intelligence, are having an extremely profound effect on very diverse sectors, including that of the judiciary in its various manifestations. The work presented here analyses some of the more recent developments in artificial intelligence in the field of the application of law, with the aim of discerning the point up to which we are approaching the idea – not so utopian now - of the AI judge and the automated application of law. The analysis is structured in three different areas, which are at the same time complimentary: firstly, there is an analysis of the conceptual aspect (what distinct elements and activities involve the judicial application of law, with the aim of determining what processes would be necessary to automate in order to be able to speak of an “AI judge”); secondly, a number of recent technologies and*

1. Este artículo es una síntesis y reelaboración parcial de Martínez Zorrilla, D. (2019). «La decisión judicial automatizada: entre la ciencia y la ficción», en Vial Dumas, M. y Martínez Zorrilla, D. (eds.). *Pensando al juez*. Madrid: Marcial Pons, pp. 152-173.

applications are presented which would influence in some way the application of law, with the purpose of determining at what point we would find ourselves with respect to a process of automation; and finally, there will be a brief reflection on the possible positive or negative effects an automation of the application of law would involve.

KEYWORDS *application of law; artificial intelligence; Information Technology Law; AI judge*

I

A lo largo de los siglos, una de las características más destacadas de la especie humana ha sido la de servirse de los avances científicos y tecnológicos para los más diversos fines, pues ofrecen mejoras sustanciales en términos de eficiencia, precisión y ahorro de tiempo y costes, entre otros aspectos. En este sentido, nos permiten desplazarnos más rápidamente, construir estructuras más grandes y sólidas, realizar cálculos muy complejos de manera más rápida y precisa, o incluso vivir más y mejor (gracias a los avances médicos), entre otros incontables ejemplos.

Visto con perspectiva histórica, no es exagerado afirmar que las tecnologías relacionadas con lo que en sentido amplio podemos denominar «informática» se encontrarían entre las más revolucionarias y disruptivas de todos los tiempos, en un plano equiparable, por ejemplo, al del dominio del fuego, la rueda o la imprenta. Y dentro de este marco, lo que puede denominarse como «inteligencia artificial» (o IA para abreviar) es seguramente su expresión más avanzada, relevante y con mayor proyección de futuro en prácticamente todos los ámbitos imaginables. Tanto por razones de extensión como por no ser el objeto del presente trabajo, no entraré en la compleja y discutida cuestión (de profundas implicaciones filosóficas) sobre qué se entiende exactamente por IA², pero a nadie se le escapa que actualmente podemos ver innumerables muestras de aplicaciones de IA en los más diversos contextos: desde el ámbito de la domótica (donde mediante múltiples sensores un dispositivo es capaz de controlar las luces, la climatización, las persianas y los toldos y las cerraduras; o frigoríficos «inteligentes» que realizan pedidos de suministros en función de las existencias), el transporte y la movilidad (desde ayudas a la conducción, tales como la detección de señales de tráfico, el control automático de la distancia de seguridad, el cálculo de la ruta más rápida teniendo en cuenta la situación del tráfico en tiempo real o el reconocimiento de peatones para activar en su caso la frenada automática, hasta la conducción completamente autónoma), la asistencia a personas enfermas o dependientes (robots cuidadores), el procesamiento masivo de datos para formular predicciones o incluso tomar y ejecutar decisiones (como por ejemplo dónde invertir para obtener un mayor rendimiento a partir del análisis de tendencias), y un larguísimo etcétera.

Aunque el ámbito del Derecho, y especialmente el de la Administración de Justicia, nunca se ha caracterizado precisamente por estar a la vanguardia de los avances tecnológicos, tampoco se ha mantenido ajeno a ellos, y es justo reconocer que en los últimos años se ha realizado un esfuerzo de modernización considerable, como lo muestra, por ejemplo, el desarrollo e implementación de LexNET³ como plataforma integral de administración electrónica de la Administración de Justicia. No obstante, al hablar de la IA aplicada al ámbito judicial es natural pensar en algo que vaya más allá de la gestión documental o de las bases de datos, y podríamos plantearnos, aunque sea como mera posibilidad teórica, la aplicación automatizada del Derecho (toma de decisiones legales), llegando incluso a la idea de un «juez artificial». ¿Se trata de algo totalmente fantástico? Si bien podemos decir que en la actualidad estaríamos aún bastante lejos de contar con procesos integrales artificiales de aplicación del

2. Sobre estas cuestiones puede verse, por ejemplo, BODEN, M. A. (ed.) (1990). *The Creative Mind: Myths and Mechanisms*. Londres: Routledge.

3. <https://lexnetjusticia.gob.es/inicio> [Fecha de consulta: 26 de junio de 2019]

Derecho (salvo quizá en contextos muy delimitados), los avances han sido muy significativos en los últimos años (y previsiblemente lo serán aún más en el futuro), con resultados en no pocos casos sorprendentes, que hacen que legítimamente podamos plantearnos la posibilidad de que en el futuro los procesos de aplicación del Derecho puedan ser (casi) totalmente automáticos.

Pero antes de referirnos a los ejemplos tecnológicos concretos, es necesario clarificar una cuestión conceptual: ¿en qué consiste o qué se entiende exactamente por «aplicación del Derecho»? ¿qué procesos y pasos implica?, ¿son todos ellos automatizables o reproducibles de manera artificial? Por otra parte, se plantea también una importante cuestión ética o valorativa: ¿hasta qué punto puede ser positivo o deseable dejar las decisiones jurídicas en manos de algoritmos o de procesos automatizados?

Teniendo en cuenta lo anterior, este trabajo aborda la cuestión de la aplicación automatizada del Derecho desde distintas dimensiones o perspectivas de análisis: a) por un lado, desde una perspectiva conceptual, realizando una primera aproximación a cuáles serían los distintos procesos implicados en la aplicación del Derecho, para así determinar qué debería «automatizarse» para poder hablar de aplicación automatizada del Derecho o decisión judicial automatizada; b) en segundo lugar, desde una perspectiva descriptiva, haciendo referencia a algunos ejemplos actuales de desarrollo de tecnologías que de algún modo inciden en la aplicación del Derecho, y reflexionando sobre su incidencia o relevancia en el proceso de «automatización» de la decisión judicial; y c) por último, desde una perspectiva valorativa, reflexionando sobre la conveniencia o la deseabilidad de dejar en manos de algoritmos automatizados procesos o decisiones que hasta el momento han estado siempre en manos de seres humanos, y que en mayor o menor medida dependen de su capacidad de comprensión y de juicio.

II

¿En qué consiste la «aplicación» del Derecho? En un primer acercamiento, parece que nos referimos a la resolución de situaciones conforme a Derecho, es decir, utilizando los parámetros y los criterios establecidos por el sistema jurídico, que determinarían, o al menos guiarían, cuál es la respuesta que debe ofrecerse a la situación sobre la que debe decidirse. Debe tenerse en cuenta que tanto los tipos de situaciones que de algún modo son abordadas por el Derecho, como los tipos de respuesta que este ofrece son extremadamente variados (pensemos, por ejemplo, desde la imposición de una sanción por una infracción de tráfico hasta la determinación de la validez de un contrato, pasando por la protección de un derecho fundamental, la decisión sobre la responsabilidad por daños y la determinación de la correspondiente indemnización, la concesión de una licencia administrativa o la decisión acerca de la incapacitación de una persona, entre una infinidad de otras situaciones). Dicha variedad no solo afecta al tipo de situaciones que de algún modo son abordadas por el Derecho, sino también a las respuestas ofrecidas por este: pueden ser tanto extremadamente específicas (como la cuantía económica de la sanción a imponer por superar el límite máximo de velocidad en 20 km/h en una vía interurbana), como ampliamente genéricas e indeterminadas (por ejemplo las medidas cautelares a tomar por un juez para asegurar el cumplimiento de una posible sentencia condenatoria). Por lo tanto, una definición debería resultar lo bastante amplia para poder contener toda esta variedad, al tiempo que mantener sus elementos distintivos para no abarcar más de lo necesario y dar así entrada a aspectos extraños al fenómeno jurídico. Mi propuesta sería entender la aplicación del Derecho como «el establecimiento de una respuesta a una determinada situación de acuerdo con los parámetros o criterios establecidos por el sistema jurídico».⁴

Cuando un decisor (por lo general, un funcionario o un juez) debe determinar la respuesta jurídica al caso que se le plantea, parece que tiene que llevar a cabo un conjunto de actividades que resultan algo heterogéneas, pero

4. Esta definición sufre de ambigüedad proceso-producto, aunque de manera intencionada: se refiere tanto a que el proceso por el que se determina una respuesta a una situación dada debe regirse por los criterios y los parámetros establecidos por el sistema jurídico (el órgano debe ser el competente, siguiendo los procedimientos y los requisitos legalmente establecidos, etc.), como a que el resultado o producto (esto es, la respuesta o decisión) se ajuste a las exigencias jurídicas establecidas (es decir, que sea, como suele decirse, conforme a Derecho).

todas necesarias para poder justificar su decisión. Parecería que, al menos, debe hacer lo siguiente (no necesariamente siguiendo un orden cronológico estricto):

- a. La selección del material jurídico relevante (recopilación y categorización de normativa, jurisprudencia y de otros materiales que puedan o deban tenerse en cuenta para fundamentar o justificar decisiones jurídicas).
- b. La interpretación de dicho material para la determinación de su significado y la obtención de los elementos del sistema normativo a utilizar para dar una respuesta a la situación planteada.
- c. La determinación de los hechos del caso concreto (prueba), que en ocasiones exige también el establecimiento de relaciones de causalidad entre acontecimientos empíricos.
- d. La calificación jurídica de los hechos probados (subsunción de enunciados fácticos en categorías jurídicas).
- e. La sistematización del sistema normativo para la determinación de la respuesta jurídica a cada una de las situaciones o casos genéricos que regula.
- f. La subsunción del caso concreto en el caso genérico correspondiente, para así obtener la respuesta jurídica al caso de conformidad con las normas del sistema.

Incluso lo que se desprende de un análisis muy preliminar es que la decisión judicial comprende múltiples y muy diversas actividades que requieren distintas técnicas y habilidades por parte del decisor. Por ello, para poder concebir un modelo completo o integral de decisión judicial automatizada debería contarse con un sistema integrado de tecnologías y procesos capaces de realizar tareas tan distintas como crear y procesar bases de datos e interpretar el lenguaje natural o el reconocimiento de imágenes y sonidos, entre otras. Así mismo, parecería más concebible y factible la creación de tecnologías que realicen o faciliten la realización de ciertas partes, tareas o fases del proceso de decisión judicial, al menos a corto y medio plazo.

En una primera aproximación ya resulta evidente que la posibilidad de automatizar distintas actividades plantea desafíos y dificultades muy diversas en función del tipo de proceso que se trate, y que en algunos de ellos es más factible que en otros. Por ejemplo, la selección y la categorización del material jurídico, gracias a la cada vez mayor capacidad de procesamiento de información y al *big data*, o la sistematización de sistemas normativos (determinación y asignación de las consecuencias jurídicas de los distintos casos genéricos) no parecen plantear desafíos técnicos importantes, incluso en el estado actual de la tecnología o en el del futuro inmediato. En cambio, otras tareas que normalmente vinculamos a conceptos y categorías tan «humanos» como el juicio y la comprensión, como podrían ser la interpretación jurídica, la subsunción de hechos en categorías normativas o la determinación de cuándo un hecho puede considerarse «probado» a partir de los elementos probatorios disponibles, parecen difícilmente automatizables o reductibles a un algoritmo informático. Sin embargo, sería un error concluir sin más que este tipo de tareas son imposibles de automatizar, aunque en el contexto actual pueda concebirse como algo muy lejano o sencillamente imposible. Los avances tecnológicos experimentados por la humanidad a lo largo de la historia en no pocas ocasiones nos han sorprendido mostrándonos cosas que nos parecían imposibles, y no existe razón alguna para pensar que no siga siendo así en el futuro. Además, es muy relevante la materia o el tipo de decisiones jurídicas de que se trate. Las posibilidades de utilizar satisfactoriamente algoritmos automatizados para la toma de decisiones son mucho mayores cuando se trata de ámbitos muy delimitados y con criterios muy objetivos, como por ejemplo el de infracciones de tráfico o el ámbito fiscal, mientras que se complica significativamente en otras cuestiones con una mayor dependencia del juicio o de la valoración subjetiva del juzgador, como cuando debe valorarse si hubo «mala fe» por parte del vendedor, o si en un robo hubo o no «violencia», por usar solo dos ejemplos.

III

A continuación, comentaré brevemente algunos ejemplos de tecnologías basadas en la IA que están de algún modo relacionadas con la aplicación del Derecho. Algunos de ellos son meros experimentos o pruebas, mientras que en otros casos se trata de tecnologías plenamente operativas.⁵

i. *Case Cruncher Alpha*⁶

Cuatro estudiantes de Derecho de Cambridge crearon un algoritmo de inteligencia artificial que, según afirmaban, era capaz de predecir resultados de decisiones judiciales o administrativas con un nivel muy alto de acierto, superior al que pueden obtener agentes humanos. Para ponerlo a prueba se realizó un experimento en el que se proporcionó a más de un centenar de abogados de bufetes prestigiosos de Londres información básica de los hechos acerca de 775 casos de seguros de crédito (*payment protection insurance*), que ya habían sido decididos por la autoridad competente (pero cuyo resultado desconocían), para que indicaran qué decisión previsiblemente había tomado el Financial Ombudsman (la autoridad competente para decidir sobre esta materia). La misma información fue proporcionada al algoritmo. Una vez terminado el análisis, el porcentaje de acierto (esto es, el nivel de coincidencia entre la respuesta de los participantes y las decisiones reales) de los abogados fue del 66,3%, mientras que el algoritmo *Case Cruncher Alpha* logró un porcentaje del 86,6%. Es decir, el experimento demostró que el algoritmo de inteligencia artificial era sensiblemente mejor que un grupo de abogados competentes en lo que respecta a la predicción del resultado de un proceso judicial o administrativo (de estas características, al menos).

Técnicamente, en este experimento no puede hablarse propiamente de predicción (puesto que se trataba de casos ya resueltos), pero esto carece de importancia en el sentido de que el mismo algoritmo podría ser aplicado a casos no resueltos para proporcionar auténticas predicciones sobre su probable resultado⁷. Sin embargo, el aspecto más interesante es el que tiene relación, precisamente, con lo que hace el algoritmo. Estrictamente hablando, no estamos ante una tecnología para «decidir» o resolver casos conforme a Derecho, por lo que no habría aplicación del Derecho, sino para formular hipótesis acerca de cómo serían resueltos. Dicho de otro modo, el algoritmo no pretende determinar la respuesta correcta o que procede para el caso planteado conforme a los criterios o estándares jurídicos aplicables, sino formular una proposición acerca de cuál será la respuesta más probable que dictará el órgano competente, lo que, aunque muy interesante, es algo conceptualmente muy distinto a «aplicar el Derecho».

Sin embargo, es probable que para poder realizar sus predicciones, de algún modo el algoritmo tenga en cuenta el contenido del Derecho. Pero al no disponer de conocimientos respecto a su funcionamiento interno, es difícil valorar en qué medida el Derecho es tenido en cuenta, o cuál es su relevancia en el proceso de elaboración de las predicciones. Así mismo, considerando que el objetivo principal es, por así decirlo, epistémico (prever qué ocurrirá) y no justificatorio, es probable que otros aspectos sean tan o más relevantes que el análisis histórico de decisiones anteriores para extraer pautas o tendencias reiterativas (no necesariamente jurídicas o basadas en normas jurídicas), y permitan fundamentar regularidades en las que basar las predicciones. En suma, lo que esta

5. La información se ha obtenido fundamentalmente de fuentes periodísticas, y en la medida en que mis conocimientos técnicos acerca de la inteligencia artificial son limitados, y que no he tenido la posibilidad de conocer o utilizar directamente ninguna de las tecnologías aquí expuestas, no puedo garantizar que la descripción sea precisa, aunque parto de la presuposición de que en líneas generales las informaciones proporcionadas por las fuentes periodísticas son correctas.

6. Puede encontrarse información sobre esta plataforma y el experimento realizado al que se hace referencia, por ejemplo, en <http://www.bbc.com/news/technology-41829534> (última visita: 26/6/2019).

7. De hecho, esta tecnología ha servido de base para la creación de una empresa que proporciona servicios de predicción acerca del resultado de futuras o hipotéticas decisiones: <http://www.case-crunch.com/> (última visita: 26/6/2019).

tecnología mostraría es la constatación de algo ya ampliamente asumido: que las máquinas son más eficientes que los seres humanos en el procesamiento y el análisis de grandes cantidades de información.

Otro aspecto a considerar es que este algoritmo no parece desempeñar ninguna función en lo relativo a la determinación de los hechos del caso. Por lo que puede deducirse a partir de la información disponible, todos los datos relativos al caso sobre cuya solución quiere obtenerse una predicción deben ser proporcionados al algoritmo (por seres humanos, muy probablemente). Tampoco queda claro si el *software* dispone de alguna capacidad para lo que podría considerarse una «interpretación» de las fuentes normativas, si bien es probable que se limite a tener en cuenta cuáles son, de hecho, las interpretaciones más habituales por parte de los tribunales de las distintas disposiciones afectadas, pues este extremo aporta un gran valor predictivo.

En síntesis, si tenemos en cuenta el conjunto de actividades principales vinculadas a la aplicación del Derecho, tal y como se expuso en el apartado II, podría decirse que es muy probable que esta tecnología lleve a cabo una selección del material jurídico relevante, y que seguramente realice tareas de sistematización, aunque es bastante dudoso que desarrolle actividades relacionadas con la interpretación jurídica, y parece que no desempeña en absoluto tareas vinculadas a la selección y a la prueba de los hechos del caso individual.

ii. El algoritmo COMPAS de los tribunales de Wisconsin⁸

COMPAS es el acrónimo de *Correctional Offender Management Profiling for Alternative Sanctions*, un software utilizado, entre otros, por la Administración de Justicia del estado de Wisconsin (EE. UU.), que proporciona una estimación acerca del grado de peligrosidad y del riesgo de reincidencia del procesado, a fin de servir como criterio para la determinación de la pena a imponer.

El algoritmo utiliza el análisis del llamado *big data* para acumular y analizar información sobre muchos casos, y para procesarlos y extraer de ellos pautas o criterios relativos a las circunstancias o a las características de los sujetos que, supuestamente, guardan relación con la probabilidad de cometer nuevos actos violentos o delictivos. Una vez proporcionada la información relativa al sujeto individual en cuestión, el algoritmo aplica estos criterios para ofrecer una estimación de su supuesto grado de peligrosidad, y esta información se tiene en cuenta por los tribunales para tomar la decisión sobre la pena a imponer.

Hace un tiempo, el sistema COMPAS tuvo cierta repercusión mediática con la noticia del caso de Eric L. Loomis⁹, que fue condenado a una pena de seis años de prisión (inusitadamente elevada) por huir en coche de la policía, debido a que el algoritmo estableció un alto grado en la probabilidad de reincidencia delictiva. La controversia en torno a COMPAS se ha centrado fundamentalmente en dos puntos: a) por una parte, en la falta de transparencia que supone el hecho de que el *software* es propiedad de una empresa privada (Northpointe Inc.), lo que implica que el código es secreto y no puede ser objeto de análisis o de auditoría externa; y b) por las acusaciones de estar sesgado y discriminar a ciertos colectivos como a los negros¹⁰, acusaciones que la empresa ha intentado rebatir, pero cuyas conclusiones acerca de su carácter sesgado o no son casi imposibles de acreditar sin un análisis del código.

Aunque estas son cuestiones relevantes, no afectan en sí a lo que es la valoración de un sistema como COMPAS, ejemplo de aplicación de la IA a la decisión judicial. Más allá de los posibles problemas del diseño del algoritmo modelo, si partimos del hecho de que el sistema legal establece que debe atenderse a criterios de peligrosidad para determinar la pena, una tecnología de este tipo puede resultar más fiable y eficaz que hacer depender la valoración de la peligrosidad y del riesgo de reincidencia en la experiencia personal del juez y en sus propios criterios o estimaciones, ya que permite manejar una cantidad de información mucho mayor y extraer

8. Una breve descripción del mismo puede encontrarse en <https://doc.wi.gov/Pages/AboutDOC/COMPAS.aspx> (última visita: 26/6/2019).

9. Puede encontrarse información sobre el caso, por ejemplo, en <https://www.nytimes.com/2017/05/01/us/politics/sent-to-prison-by-a-software-programs-secret-algorithms.html> (última visita: 26/6/2019)

10. Véase <https://www.propublica.org/article/machine-bias-risk-assessments-in-criminal-sentencing> (última visita: 26/6/2019).

conclusiones fundamentadas y sin riesgo de ser afectadas por los sesgos o las inclinaciones que, consciente o inconscientemente, pueden afectar al juicio del juzgador.

Pese a todo, debe tenerse en cuenta que estamos hablando de un aspecto muy menor en comparación con el conjunto de actividades y de tareas que implica una decisión judicial. Aunque el algoritmo permita obtener conclusiones precisas y objetivables sobre el grado de peligrosidad y la probabilidad de reincidencia del acusado, no tiene incidencia alguna en prácticamente ninguno de los ámbitos principales de la decisión judicial: no sirve para seleccionar material normativo relevante, ni para la interpretación jurídica, ni para la sistematización del derecho, ni, estrictamente hablando, para la prueba o calificación jurídica de los hechos, a pesar de que tenga un impacto en una premisa fáctica que sirve para fundamentar la decisión. Por lo tanto, más que concebirlo como una aplicación de la inteligencia judicial a la decisión judicial, debería entenderse como una herramienta tecnológica más de apoyo al decisor, como pueden ser las bases de datos jurídicas.

iii. El *chatbot* DoNotPay¹¹

DoNotPay es el nombre dado por Joshua Browder, un estudiante de Derecho de la Universidad de Stanford, a un algoritmo de tipo *chatbot*¹² creado por él, que en sus inicios estaba enfocado a la impugnación de sanciones de tráfico (como multas de aparcamiento, exceso de velocidad, semáforos...), y que es capaz de generar escritos de impugnación que el usuario simplemente tiene que imprimir y firmar. Según fuentes del propio creador, consiguió recuperar más de tres millones de dólares por medio de los recursos presentados gracias a su tecnología. Recientemente, su creador ha trabajado en la ampliación del ámbito de actuación de su *software*, cubriendo otros campos como las reclamaciones a compañías aéreas (cancelación de vuelos, sobreventa, pérdida de equipaje...) o la defensa del consumidor, entre otros. Mediante una interfaz simple con un cuadro de entrada de texto, el usuario introduce su petición o su problema (por ejemplo «he recibido una multa de aparcamiento») y el algoritmo le va guiando por una serie de pasos (solicitando información acerca de los hechos del caso) para finalizar con la generación automática de un escrito de impugnación (supuestamente fundamentado en Derecho).

Estrictamente hablando, esta tecnología no estaría enfocada a la decisión judicial automatizada, sino más bien a lo que podría entenderse como un abogado virtual o *robot lawyer*, ya que su finalidad es proteger los intereses de la parte. Con todo, parece evidente que para su funcionamiento requiere de la realización de ciertas actividades vinculadas a la aplicación del Derecho. Así, parece claro que necesita contar con una base de datos de fuentes normativas (selección de material jurídico relevante), y que debe ser capaz de realizar tareas de sistematización para obtener las consecuencias jurídicas correspondientes a los distintos supuestos fácticos, pues solo de ese modo es posible fundamentar jurídicamente la pretensión. Es dudoso que el algoritmo lleve a cabo una actividad de interpretación jurídica propiamente dicha, ya que ello requiere de una complejidad técnica y de cálculo muy considerable. Lo más probable es que la propia programación contenga el material ya interpretado (vinculando supuestos de hecho con consecuencias jurídicas), sobre todo teniendo en cuenta que se trata de ámbitos cuya regulación suele ser bastante precisa y sin demasiado margen para la interpretación. Tampoco parece que el programa lleve a cabo tarea alguna vinculada con la prueba de los hechos, puesto que se basa totalmente en los datos proporcionados a instancia de parte.

No obstante, y pesar de sus limitaciones tanto en sus funciones como en su ámbito, DoNotPay es un buen ejemplo de cómo en un futuro cercano, o incluso en el presente, la inteligencia artificial puede ser muy útil para decidir sobre cuestiones de (relativamente) escasa complejidad técnica desde el punto de vista jurídico y de escasa cuantía, agilizando enormemente esos procesos.

11. Una descripción general puede encontrarse en <https://www.theverge.com/2017/7/12/15960080/chatbot-ai-legal-donotpay-us-uk> (última visita: 26/6/2019).

12. Un *chatbot* es un algoritmo de inteligencia artificial que permite a un usuario la entrada de peticiones mediante lenguaje natural (oral o escrito) e intenta ofrecer una respuesta adecuada; cada vez son de mayor implantación en las empresas para las tareas de atención al cliente.

iv. La inteligencia artificial aplicada al lenguaje natural (y jurídico): *Watson/ROSS Intelligence*

IBM, una de las grandes empresas tecnológicas del planeta, lleva años investigando y desarrollando, en el ámbito de lo que se denomina computación cognitiva, una tecnología que intenta emular la manera de razonar y de interactuar de los seres humanos, y en la que ocupa un lugar central la «comprensión» (sin entrar aquí en debates filosóficos) y la comunicación mediante el lenguaje natural. Como resultado de sus desarrollos, Watson creó una herramienta capaz de «entender» el lenguaje natural y con capacidad de «aprendizaje» a partir de toda la información que constantemente va recopilando y procesando. Watson tuvo repercusión mediática en el año 2011 por ser el vencedor en el concurso norteamericano de preguntas *Jeopardy!*, en el que se enfrentó a los dos concursantes humanos con mayor número de victorias hasta la fecha¹³. Lo más destacable no es tanto la enorme capacidad de acumulación de información y la velocidad de procesamiento de la misma, sino el hecho de que Watson pudo, conforme avanzaba el concurso, entender correctamente incluso los dobles sentidos, los giros lingüísticos, las metáforas o la ironía que forman parte habitual de nuestros lenguajes naturales, con lo que puede decirse que tiene una capacidad notable de comprensión y de interpretación lingüística.

Más recientemente, una empresa llamada ROSS Intelligence ha usado la tecnología de Watson para aplicarla al ámbito jurídico¹⁴. La idea principal es utilizarla para procesar la ingente cantidad de material jurídico que constantemente se genera (legislación, jurisprudencia, documentos contractuales, etc.) para tener no solo la máxima y más actualizada información, sino también (y especialmente) para discriminar y seleccionar la más adecuada y relevante para el problema que se esté tratando en cada momento, ahorrando así grandes cantidades de tiempo y de esfuerzo a los operadores jurídicos. Según se afirma, esta tecnología es capaz de procesar más de mil millones (*one billion*) de documentos legales por segundo, redactados en lenguaje natural, y retornar resultados con mucha precisión a las cuestiones planteadas (también en lenguaje natural, tal y como se formularían a un abogado). Al tratarse de una tecnología de aprendizaje automático (*machine learning*), además mejora constantemente. Pero a pesar de estos datos sorprendentes, la tecnología no está pensada, al menos por el momento, para sustituir a jueces o a abogados, sino más bien como una herramienta de apoyo a su actividad, sobre todo la de buscar y seleccionar información jurídica relevante. Según el propio CEO de ROSS Intelligence, tareas como sopesar la información, crear argumentos jurídicos o preparar documentos siguen siendo exclusivas de los juristas humanos.

Este último ejemplo de tecnología aplicada al ámbito jurídico es especialmente interesante porque guarda una estrecha relación con una de las actividades que *a priori* parecerían más difíciles de automatizar, como es la interpretación jurídica, o la conversión de expresiones redactadas en lenguaje natural a una serie de parámetros que permitan una sistematización en términos de correlación de casos con soluciones jurídicas, sin necesidad de una intervención humana que determine el significado de tales enunciados normativos. Con todo, como muestra el debate teórico acerca de la interpretación jurídica, parece que esta va mucho más allá de simplemente entender o captar el significado claro y unívoco de los enunciados dictados por las autoridades normativas, pues en muchos casos parece involucrar una toma de decisiones o razonamientos y argumentos que les dan fundamento, como en muchos de los llamados argumentos interpretativos (argumento analógico, *a fortiori*, teleológico, psicológico, sistemático, apagógico, etc.) que son habitualmente usados en el razonamiento jurídico. Pero a pesar de ello, son innegables el alcance y la importancia de los desarrollos tecnológicos vinculados a la interpretación del lenguaje natural.

A partir de los ejemplos expuestos en este apartado, creo que puede concluirse que, hasta la fecha, todos los avances tecnológicos deben ser concebido como herramientas parciales de ayuda a la decisión, y que estamos todavía lejos de lo que podría considerarse un sistema integral automatizado de toma de decisiones jurídicas (salvo quizá en ámbitos muy concretos y específicos en los que estén perfectamente delimitadas todas las cuestiones jurídicas y fácticas). Algunos aspectos relacionados con la aplicación del Derecho parecen especialmente

13. Un reportaje periodístico sobre esta noticia puede verse en <http://www.nytimes.com/2011/02/17/science/17jeopardy-watson.html?pagewanted=all> (última visita: 26/6/2019).

14. Véase <https://www.ibm.com/blogs/watson/2016/01/ross-and-watson-tackle-the-law/> (última visita: 26/6/2019).

problemáticos, como la interpretación jurídica (a pesar de los importantes avances en computación cognitiva), la prueba de los hechos o la calificación de estos en categorías jurídicas. Pero no es menos cierto que los avances en inteligencia artificial son rápidos y significativos, y que cabe esperar que sus desarrollos aun lo sean en mayor medida en un futuro, con lo que no parece en absoluto descartable la idea de un juez artificial completamente autónomo.

IV

Los avances tecnológicos en general y de la IA en concreto no parecen ser una opción, sino sencillamente algo que está ocurriendo y que tendrá un impacto cada vez mayor. Por ello, en lugar de plantearnos si deberían aplicarse o no estos avances al ámbito de la decisión jurídica, quizá sea mejor reflexionar sobre sus posibles aspectos positivos y negativos, así como hacer propuestas sobre hacia dónde podrían orientarse para que los resultados sean más satisfactorios, o cuanto menos para evitar posibles peligros y problemas.

Como punto de salida, partiré de la base de que la decisión judicial es una actividad primordialmente técnica o instrumental, en el sentido de que, sobre todo a partir de la Ilustración y en el contexto occidental, se vincula más estrechamente a la idea de «aplicar el Derecho o decidir conforme a Derecho», que a la de «impartir justicia». Se trata de utilizar las herramientas, los recursos y los procedimientos establecidos por el sistema jurídico para dar una respuesta que, al menos en principio o teóricamente, está predeterminada por el propio sistema. El juez, en ese contexto, se configura como un especialista con una formación técnica adecuada para la obtención de dicha respuesta, y que además debe obtenerla mediante los procesos y los criterios jurídicamente establecidos.

Los avances tecnológicos siempre se han revelado útiles para la realización de tareas instrumentales, mejorando aspectos como la eficiencia, la precisión y la rapidez. Por ello, al menos *a priori* parecería que la actividad de aplicación del Derecho podría verse beneficiada por la implementación de estas nuevas tecnologías. Ahora bien, hace ya bastante tiempo que por múltiples razones se abandonó la concepción formalista que concebía la actividad judicial o de aplicación del Derecho en general como algo mecánico, donde el decisor sería un tipo de autómatas. Incluso las concepciones contemporáneas que, como en el caso de Ronald Dworkin¹⁵, defienden la idea de una única respuesta correcta y la actividad judicial como primordialmente epistémica o de descubrimiento, asumen que en la decisión judicial intervienen muchos aspectos relacionados con la capacidad de juicio y de reflexión, principalmente en ámbitos como el de la interpretación jurídica. Esto plantea algunos problemas y dificultades tanto para la posibilidad efectiva de crear un modelo automatizado de decisión judicial, como para las consecuencias que este podría tener en dicha actividad. Pero a estas cuestiones me referiré más adelante. Por el momento, señalaré algunos aspectos, en mi opinión positivos, que *prima facie* conllevaría la decisión judicial automatizada:

Imparcialidad. Una primera consecuencia evidente es que las decisiones estarían libres de los sesgos que, aun de manera inconsciente y reconociendo el gran esfuerzo realizado por la inmensa mayoría de jueces por mantener su imparcialidad, pueden afectar a los decisores humanos, en función de su ideología, experiencia, creencias, ideas preconcebidas, entorno o contexto cultural, circunstancias personales, etc. Un algoritmo informático es simplemente incapaz de comportarse de modo distinto a cómo predetermina su programación, de manera que se vería libre de todos estos factores. Con todo, debe tenerse en cuenta un aspecto muy importante, la posibilidad de sesgos en la programación del algoritmo. Aunque la tecnología por sí sola sea incapaz de introducir sesgos, estos pueden estar contenidos en la programación, pues los programadores (al menos de momento) son seres humanos. Por ello, para evitar situaciones como la controversia relacionada con el algoritmo COMPAS, sería fundamental el requisito de la transparencia. El código de los algoritmos no debería ser secreto, sino público y susceptible de supervisión y de análisis por parte de las autoridades correspondientes, lo que sin duda conllevaría repercusiones relevantes en el ámbito empresarial, ya que las empresas desarrolladoras de *software* probable-

15. Véase, por ejemplo, DWORKIN, R. (1977). *Taking Rights Seriously*. Cambridge (Massachusetts): Harvard University Press.

mente tendrían importantes intereses en mantener su código en secreto como manera de ocupar una posición ventajosa frente a la competencia; pero en este punto debería prevalecer el interés público y deberían buscarse alternativas para conseguir que este ámbito siguiera siendo atractivo para las empresas del sector.

Consistencia. Otro de los aspectos en los que un modelo de decisión automatizada tendría un impacto importante es el de reducir la variabilidad y la multiplicidad de criterios, interpretaciones, etc. en las decisiones vinculadas a la propia pluralidad de los órganos decisores (jueces y tribunales). Distintos órganos pueden interpretar de modo divergente los mismos preceptos legales o valorar de manera diferente unos mismos hechos, dando lugar a decisiones distintas incluso en supuestos que comparten las mismas circunstancias relevantes. El uso de algoritmos de decisión garantizaría la misma interpretación y los mismos criterios de decisión, y por tanto una mayor consistencia en la jurisprudencia (si es que puede utilizarse ese término en dicho contexto), con consecuencias muy significativas en la previsibilidad de las decisiones y de la seguridad jurídica. Además, gracias a la enorme capacidad de acumulación y de procesamiento de la información, se eliminaría prácticamente la posibilidad de error derivado de no tener en cuenta alguna normativa aplicable o algún elemento jurídicamente relevante.

Previsibilidad. Como se ha comentado en el párrafo anterior, el uso de algoritmos garantizaría la consistencia en las interpretaciones y en los criterios de decisión, permitiendo un alto grado de previsibilidad, y con ello de la seguridad jurídica. En principio, sería posible conocer con un alto nivel de precisión las consecuencias jurídicas de nuestros comportamientos, incluso sin necesidad de iniciar un proceso judicial, de manera que mejoraría el grado de autonomía personal al contar con mejores criterios acerca de las consecuencias de cada alternativa de acción, ayudando así a la toma de decisiones del agente.

Por otro lado, no obstante, no deberían olvidarse o minusvalorarse otros aspectos que plantean serios problemas, tanto a la posibilidad efectiva de la decisión judicial automatizada como a su deseabilidad, aun en el caso de ser técnicamente posible.

- a. En primer lugar, como se puso de manifiesto anteriormente, parece haber un amplio consenso en la teoría jurídica sobre la inadecuación de un esquema puramente «mecanicista» de la aplicación del Derecho, y los obstáculos para que un modelo formalista o mecanicista funcione tienen relación, primordialmente, con ciertas características de los propios sistemas jurídicos. Un aspecto importante es que el lenguaje jurídico en general, aunque sea de carácter técnico, no deja de ser un lenguaje natural (por contraposición a los lenguajes artificiales), por lo que está afectado por problemas como la vaguedad y la ambigüedad, que en alguna medida implican un cierto grado de indeterminación y la necesidad de elecciones o de decisiones por parte del intérprete. Este hecho no solo dificulta técnicamente la elaboración de un modelo de decisión automatizada, dado que los lenguajes de programación algorítmica son artificiales, sino que, en caso de establecer o fijar criterios interpretativos para enfrentarse a estas dificultades, de algún modo «cristalizarían» o «solidificarían» ciertas interpretaciones, desechando otras igualmente legítimas, y supondría además la prevalencia del criterio adoptado por los programadores por encima del de otras autoridades jurídicas.
- b. En segundo lugar, es habitual que el legislador en ciertos casos persiga conscientemente que haya un cierto grado de indeterminación en la respuesta jurídica, o la atribución de cierta capacidad de decisión discrecional al decisor. Así ocurre, por ejemplo, cuando los preceptos legales hacen referencia o incorporan conceptos valorativos o de tipo moral, o conceptos esencialmente controvertidos, o cuando delegan directamente en el juez la capacidad de decidir las medidas más adecuadas a tomar (dentro de un margen). De nuevo, los algoritmos podrían incorporar ciertos parámetros para determinar las decisiones en estos casos, pero al precio de imponer una determinada concepción y de eliminar toda posibilidad de deliberación o de argumentación moral.
- c. En tercer lugar, no puede descartarse tampoco la posibilidad de «ataques» al sistema (*hacking*), como ocurre con prácticamente todos los sistemas informáticos. El tema de la seguridad informática es una carrera continua entre quienes intentan proteger los sistemas y quienes intentan superar los obstáculos y las barreras que los protegen. Pero aunque la seguridad total no existe, creo que tampoco debería sobredimensionarse el problema ni los riesgos. Todas las empresas e instituciones sufren constantes ataques a sus sistemas informáticos, pero la inmensa mayoría son bloqueados, y en las pocas situaciones en las que los hackers

consiguen burlar las medidas de seguridad, lo más habitual es que se reaccione con rapidez y se contengan los daños. En cierto modo, se podría hacer un paralelismo con los casos de corrupción: aunque siempre hay casos de jueces corruptos, lo más habitual es que sean muy minoritarios (en comparación con el volumen total de jueces y de decisiones), y que sus efectos no sean devastadores. Es más, la probabilidad de hackear un sistema informático de decisión judicial seguramente es inferior a la de que un juez sea corrupto.

Por otro lado, no debería olvidarse que la irrupción de los avances tecnológicos aplicados a ciertos ámbitos o actividades no pocas veces ha provocado o ha contribuido a la propia configuración o transformación de tales actividades, y el Derecho no sería ajeno a ello.¹⁶ De manera puramente especulativa, creo que los cambios podrían tomar dos direcciones distintas, aunque sería posible una combinación de ambas.

Por una parte, cabe la posibilidad de que la producción normativa se ajuste paulatinamente a las «necesidades» de la aplicación automatizada del Derecho, en el sentido de hacer más sencilla la adaptación a dichas tecnologías y que su funcionamiento pueda ser menos problemático. Algunos de esos cambios ya pueden vislumbrarse hoy, como ocurre con los llamados *smart contracts*¹⁷, que hacen uso de una tecnología denominada blockchain o cadena de bloques, que es prácticamente «*inhackeable*», para registrar y hacer cumplir automáticamente acuerdos contractuales, lo que puede tener en el futuro un efecto importantísimo, por ejemplo, en la disminución de la litigiosidad asociada a los contratos, por eliminar toda necesidad de prueba respecto a la existencia y al contenido de la relación contractual.

Por otra parte, otro modo de afrontar las dificultades antes señaladas sería procediendo a una cada vez más marcada diferenciación entre los ámbitos o los asuntos objeto de decisión artificial, y aquellos otros que deban ser resueltos por seres humanos. Así, las cuestiones que puedan resolverse mediante criterios claros y objetivos (probablemente la mayoría) y que no afecten a cuestiones de gran trascendencia moral (como por ejemplo los derechos fundamentales, decisiones relativas a menores o personas vulnerables, etc.) serían objeto de decisión artificial, mientras que otras en las que se considere importante contar con la capacidad de juicio y de deliberación se reservarían a decisores humanos. Incluso sería posible un modelo mixto en el que la intervención humana se limitara a revisar las decisiones previas o las propuestas de decisión ofrecidas por algoritmos. En suma, como ha sido la tendencia invariable a lo largo de la historia, se dejaría para las máquinas lo que las máquinas pueden realizar de manera más eficiente, y se reservaría a los seres humanos lo que las máquinas no son capaces de hacer o realizar de manera satisfactoria, y que son de hecho las más importantes.

Cita recomendada: MARTÍNEZ ZORRILLA, David. El juez artificial: ¿próxima parada?. *Oikonomics* [en línea]. Noviembre 2019, no. 12, pp. 1-12. ISSN: 2339-9546. DOI: <https://doi.org/10.7238/o.n12.1914>

16. No sería ni mucho menos el primer caso. En ocasiones, una tecnología ha supuesto incluso la aparición de nuevos ámbitos de actividad, como por ejemplo el cine o los videojuegos en forma de expresiones o manifestaciones artísticas. En otros casos, ha traído cambios importantes en campos que existían previamente, como ocurrió, por ejemplo, en la arquitectura gracias al uso de nuevos materiales en la llamada «arquitectura del hierro» del s. XIX, o en la aparición de nuevos instrumentos y tecnologías en la música, que ha incidido de manera destacable incluso en el «tipo» de música que se crea.

17. Una breve introducción no técnica a los llamados «contratos inteligentes» puede encontrarse en https://retina.elpais.com/retina/2017/12/22/tendencias/1513937575_114270.html (última visita: 26/6/2019).



David Martínez Zorrilla

Profesor agregado de los Estudios de Derecho y Ciencia Política de la UOC

dmartinezz@uoc.edu

David Martínez (Manresa, 1974) es licenciado en Derecho con Premio Extraordinario (1997) por la Universitat Autònoma de Barcelona, y doctor en Derecho (2004) por la Universitat Pompeu Fabra. Actualmente es profesor agregado de los Estudios de Derecho y Ciencia Política de la UOC y profesor asociado en la escuela de negocios ESERP, y especializado en el ámbito de la teoría general y de la filosofía del derecho. Es autor de varias monografías y artículos académicos en publicaciones españolas y extranjeras, entre las que destacan «Conflictos constitucionales, ponderación e indeterminación normativa» (Marcial Pons, 2007); «Metodología jurídica y argumentación» (Marcial Pons, 2010); «The Structure of Conflicts of Fundamental Legal Rights», en *Law & Philosophy*, vol. 30 (2011); «Constitutional Dilemmas and Balancing. Some Comments on Lorenzo Zucca's Analysis», en *Ratio Juris*, vol. 24 (2011); «Some Thoughts About the Limits of Alexy's Conception of Principles and Balancing», en Duarte, D. y Silva Sampaio, J. (eds.). *Proportionality in Law. An Analytical Perspective* (Springer, 2018).

Los textos publicados en esta revista están sujetos –si no se indica lo contrario– a una licencia de Reconocimiento 4.0 Internacional de Creative Commons. Puede copiarlos, distribuirlos, comunicarlos públicamente, hacer obras derivadas siempre que reconozca los créditos de las obras (autoría, nombre de la revista, institución editora) de la manera especificada por los autores o por la revista. La licencia completa se puede consultar en https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES.

