

Carencias formativas de los grados de ingeniería para la industria 4.0 en España. Una propuesta de actuaciones

Training gaps in engineering degrees for industry 4.0 in Spain. A proposal for actions



Julián Horrillo-Tello y Joan Triadó-Aymerich
Universidad Pompeu Fabra (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8604>

Las dos últimas décadas han visto la progresiva implantación de las tecnologías digitales en el conjunto de la actividad económica, lo que ha generado nuevos sectores de actividad productiva directamente relacionados con las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), y ha proporcionado nuevos factores productivos para el resto de ramas de actividad económica. La utilización de las TIC mejora la eficiencia de gestión de los elementos de valor de la empresa, la

profunda transformación de su industria a través de la iniciativa *Industria Conectada 4.0* [3]. La tecnología es un elemento central en el nuevo modelo industrial que hace posibles modelos de fabricación inteligente y de alto valor, que necesitan alta conectividad y que gestionan grandes volúmenes de información. La hoja de ruta tecnológica de la fábrica inteligente debe combinar, entre otros: sistemas ciberfísicos (CPS), Internet de las cosas (IoT), comunicaciones seguras, *cloud computing* y soluciones de *Big data*. Estas tecnologías facilitan la digitalización y la integración de la cadena de valor, la aparición de nuevos modelos de negocio y la digitalización de la cartera de productos y servicios de la empresa, en una transición hacia una industria de soluciones.

en la *Smart Factory*, cabe destacar las posibilidades de innovación no tecnológica ante la necesidad de nuevos modelos de negocio relacionados con una adaptación de los procesos internos y de las relaciones de la empresa con su entorno [3]. La forma en que el producto se hace llegar al mercado, incorporar funcionalidades nuevas o asociar un servicio, son diferentes vías para la innovación en el modelo de negocio. En definitiva, la transformación digital de la empresa industrial abarca todos sus procesos de negocio, incluida la función de producción, y considera el ciclo de vida completo del producto, para dar respuesta a las nuevas exigencias de los mercados globales. Este hecho nos ha llevado a lo que ya se denomina 4ª revolución industrial o Industria 4.0, caracterizada por la flexibilidad y la adaptabilidad de la función de producción, conseguidas mediante la incorporación masiva de TIC [4]. El objetivo del presente trabajo es identificar los cambios provocados por el proceso de transformación digital en la empresa industrial, y aproximar el nuevo perfil de capital humano necesario para su gestión. El conocimiento de este perfil puede ayudar a mejorar la estructura de los Grados y Masters relacionados con la ingeniería industrial.

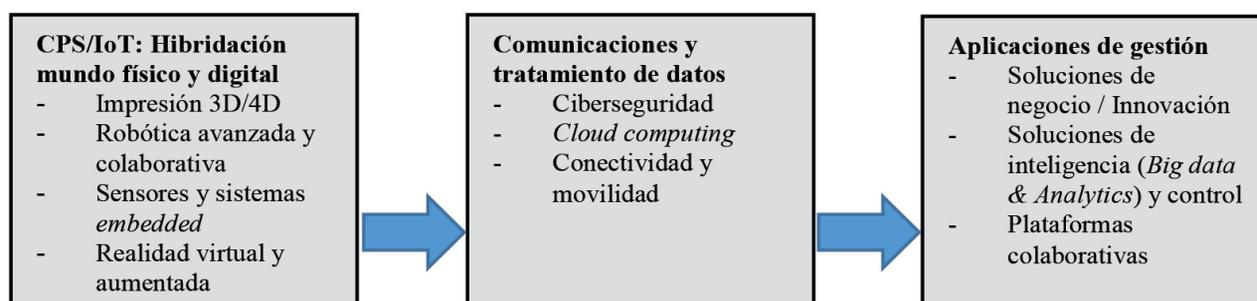


Figura 1: Tecnologías de la Smart Factory. Fuente: Elaboración propia a partir de [3]

flexibilidad de la función de producción y propicia nuevos modelos de negocio y nuevas estructuras organizativas. Pero las nuevas tecnologías no sólo afectan al diseño y la gestión del sistema productivo, sino también al diseño del producto con una clara orientación a la reducción del *time-to-market* y a la generación de valor para el cliente, y la gestión del proceso de innovación empresarial [1]. Así el Plan de Industrialización de la UE establece como objetivo conseguir un peso de la manufactura del 20% del VAB de la UE en 2020 [2]. También España ha decidido abordar una

Los fundamentos tecnológicos de la *Smart Factory* comprenden un amplio abanico de tecnologías que pueden agruparse en tres grandes categorías, correspondientes a lo que se llaman habilitadores de la Industria 4.0 (Figura 1).

El carácter multidisciplinar, volátil y complejo de la innovación, la velocidad de cambio tecnológico, los costes y riesgos de acceso al mercado, y la reducción del ciclo de vida de los productos están acentuando, cada vez más, el carácter colectivo de la actividad innovadora [5]. A pesar de la importancia estratégica de la tecnología

1. METODOLOGÍA Y DATOS

Partimos de las competencias de Grado fijadas por el Ministerio¹ y concretadas en la "Orden CIN/351/2009" de 9 de febrero del 2009. Dados los objetivos del trabajo, la metodología empleada ha sido, en primer lugar, establecer los requerimientos competenciales deseables o competencias I4.0 (sección 2); en segundo lugar identi-

¹ Ministerio de Ciencia e Innovación en 2009, actualmente Ministerio de Educación, Ciencia y Deporte.

Criterio de ejecución	Grado de cobertura	Margen de valoración
Las competencias de Grado cubren todos, o casi todos, los aspectos de la competencia I4.0	Completa	3 - 4
Las competencias de Grado cubren bastantes aspectos de la competencia I4.0 pero quedan algunos relevante no cubiertos	Significativa	2 - 3
Existen competencias de Grado pero solamente cubren algunos aspectos de la competencia I4.0 de forma muy parcial	Baja	1 - 2
No existen competencias de Grado o, si existe alguna, tan solo cubre tangencialmente algún aspecto	Muy baja	0 - 1

Tabla 1: Escala de valoración del grado de cobertura de la competencia I4.0. Fuente: Elaboración propia

ficar las relaciones entre competencias de Grado y competencias I4.0; y por último, identificar y valorar la diferencia incremental entre ambos conjuntos de competencias. Las competencias I4.0, quedan establecidas en relación a los tres habilitadores de la Industria 4.0 identificados: *hibridación del mundo físico y el digital, comunicaciones y tratamiento de datos, y aplicaciones de gestión*; y a cuatro factores principales que pueden influir en el perfil del capital humano de la industria del futuro [7]: *herramientas y tecnología, organización y estructura, entorno de trabajo, y cooperación e innovación*.

Dada la naturaleza de esta identificación se ha llegado a la conclusión de que la mejor metodología a utilizar era la de la evaluación subjetiva por parte de un equipo de expertos (*peer-review*); metodología habitualmente empleada en la evaluación de determinados indicadores de calidad universitaria [8]. Dado que, por la naturaleza de la evaluación a realizar no se dispone de un sistema objetivo de valoración se ha optado por aplicar el método de valoración por escala de control. La evaluación fue realizada independientemente por cuatro investigadores, entre los cuales se encontraban los dos autores del trabajo. En primer lugar se identificaron independientemente las competencias I4.0 y en una posterior reunión se consensó el grupo final de competencias. Posteriormente, y también de forma individual,

se identificaron las relaciones entre competencias de Grado y competencias I4.0, valorando cuantitativamente la intensidad de las mencionadas relaciones según la rúbrica de la Tabla 1. A partir de las evaluaciones de cada experto, se estableció la valoración del grado de cobertura considerando la media de las evaluaciones individuales.

2. COMPETENCIAS DE LA FUERZA DE TRABAJO DE LA NUEVA MANUFACTURA. EL INGENIERO 4.0

El concepto de competencia empleado en el presente trabajo integra conocimientos, habilidades y actitudes (KSA: *Knowledge, Skills and Attitudes*) que corresponde a un enfoque orientado al trabajador, dentro de la tradición racionalista [9], y que es consistente con la taxonomía del aprendizaje de Bloom [10][11]. El CEDEFOP [12] en sus trabajos sobre conocimientos, habilidades y competencias en la educación y la formación profesional de los países de la UE, propone una tipología unificada de competencias que son las empleadas en este trabajo y que se recogen en la Figura 2. El conocimiento es capturado por las competencias cognitivas, las habilidades por las competencias funcionales, mientras que las actitudes y los comportamientos son capturados por las competencias sociales. Las metacompetencias están relacionadas con las

capacidades para alcanzar nuevas competencias a través del proceso de aprendizaje.

La caracterización de la fábrica del futuro, realizada en la introducción apunta a la necesidad de nuevas competencias y habilidades de la mano de obra cualificada [6][13]. Para la identificación de las competencias principales empleamos un enfoque relacionado con el proceso de aprendizaje basado en competencias, el cual considera los habilitadores principales de la Industria 4.0, con una perspectiva conceptual que nos permitirá identificar competencias tecnológicas y de uso; y de estas últimas derivaremos competencias técnicas (diseño, gestión e innovación) y personales. Las tecnológicas tienen que ver con el conocimiento y uso de las nuevas tecnologías de la información, la comunicación y la producción; las técnicas están relacionadas con las capacidades para el diseño y la gestión de los procesos de negocio de la *Smart Factory*; y las personales recogen la dimensión actitudinal del ingeniero en el desarrollo de sus funciones. Las competencias tecnológicas y técnicas corresponderían a las competencias ocupacionales de la Figura 2, mientras que las personales corresponderían a las competencias sociales y las metacompetencias de la misma Figura. En el presente trabajo tan sólo se han considerado las competencias tecnológicas y técnicas, las cuales aparecen recogidas en la Tabla 2.

Las competencias relacionadas con la hibridación del mundo físico y el digital corresponden principalmente a capacidades para diseñar productos, y diseñar y gestionar procesos que tienen lugar en la planta de fabricación. Estas competencias están relacionadas con el conocimiento y las habilidades para utilizar las nuevas tecnologías de la producción, y para incorporar las tecnologías de la información y la comunicación a los procesos de fabricación, haciendo posible su transformación digital, aspecto central de la nueva revolución industrial. Las compe-

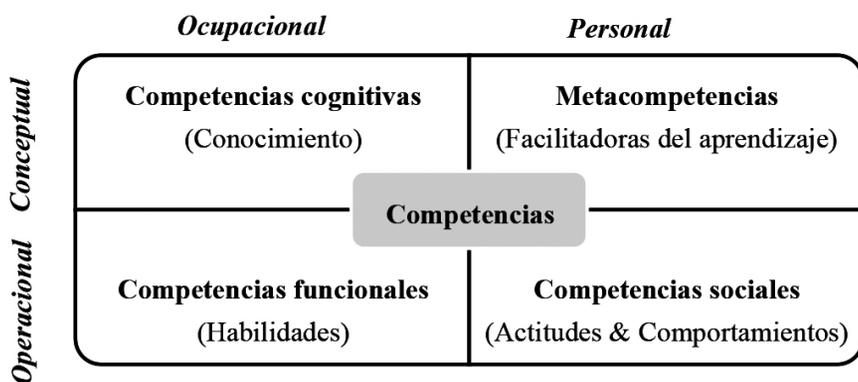


Figura 2: Tipología de competencias. Fuente: CEDEFOP [12]

Factor	Habilitadores Industria 4.0		
	Hibridación mundo físico y digital	Comunicaciones y tratamiento de datos	Aplicaciones de gestión
Herramientas y tecnologías	<ul style="list-style-type: none"> Conocimiento y aplicación de nuevas OT^a (Operation Technologies) Conocimiento y aplicación de IT (Information Technologies) para la digitalización de los procesos industriales^a Conocimientos especializados y aplicación de nuevas tecnologías para la automatización de procesos^a Capacidades de desarrollo de aplicaciones industriales complejas de tiempo real^a 	<ul style="list-style-type: none"> Conocimiento y habilidades en el uso de tecnologías para el desarrollo de aplicaciones avanzadas de tratamiento de datos de campo en tiempo real^a Conocimiento y habilidades en el uso de tecnologías para tratamiento de datos y el uso de aplicaciones en el <i>cloud</i>^b Conocimiento y habilidades sobre las arquitecturas del <i>hardware</i> y el <i>software</i> del <i>cloud</i>^b Conocimiento sobre el uso avanzado de tecnologías para comunicaciones fijas y móviles^a Conocimiento y habilidades en el uso de tecnologías para la gestión de la ciberseguridad^a 	<ul style="list-style-type: none"> Conocimiento general e interdisciplinario sobre plataformas de gestión (IT)^a Conocimiento y habilidades en tecnologías para <i>business intelligence</i> y <i>big data</i>^a
Organización y estructura	<ul style="list-style-type: none"> Diseño y gestión de actividades y procesos sostenibles de manufactura^b Conocimiento y habilidades sobre procesos de diseño de producto^b Conocimiento sobre el marco legal y normativo de la actividad industrial^b Organización y planificación^b 	<ul style="list-style-type: none"> Conocimiento sobre el marco legal y normativo del tratamiento de datos^b 	<ul style="list-style-type: none"> Conocimientos generales e interdisciplinarios sobre nuevos modelos de negocio y organizaciones^b Conocimiento de los procesos de negocio, y aplicaciones de los fundamentos de la transformación digital de la empresa^b Conocimientos sobre los procedimientos para la gestión de la calidad^b
Entorno de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> Conocimiento y habilidades para interactuar con interfaces modernas (HMI)^b Consciencia sobre la importancia de la ergonomía^b 	<ul style="list-style-type: none"> Consciencia de los riesgos y beneficios de la migración a un entorno <i>cloud</i>^b Capacidades de desarrollo de aplicaciones de tratamiento básico de datos^b Consciencia sobre la importancia de la usabilidad en el tratamiento de los datos^b 	<ul style="list-style-type: none"> Análisis y procesamiento avanzados de datos, información y conocimiento aplicados a la gestión empresarial^b Capacidades para la definición de procesos de negocio y la definición de modelos para su gestión basada en el conocimiento^b Consciencia sobre la importancia de la usabilidad en las aplicaciones de gestión^b
Cooperación e innovación	<ul style="list-style-type: none"> Capacidad lógica para entender la importancia de la tecnología en la innovación de producto y de proceso^b Capacidad para la gestión de proyectos colaborativos en R+D^b Capacidad para el diseño de productos orientado al cliente^b 	<ul style="list-style-type: none"> Capacidad lógica para entender la importancia de la información interna y externa en la innovación de producto y de proceso^b 	<ul style="list-style-type: none"> Diseño de nuevos modelos de negocio disruptivos basados en la tecnología^b Capacidad lógica para entender la innovación organizativa y comercial^b

Tabla 2: Competencias I4.0 (tecnológicas^a y técnicas^b). Fuente: Elaboración propia a partir de [6][7][13]

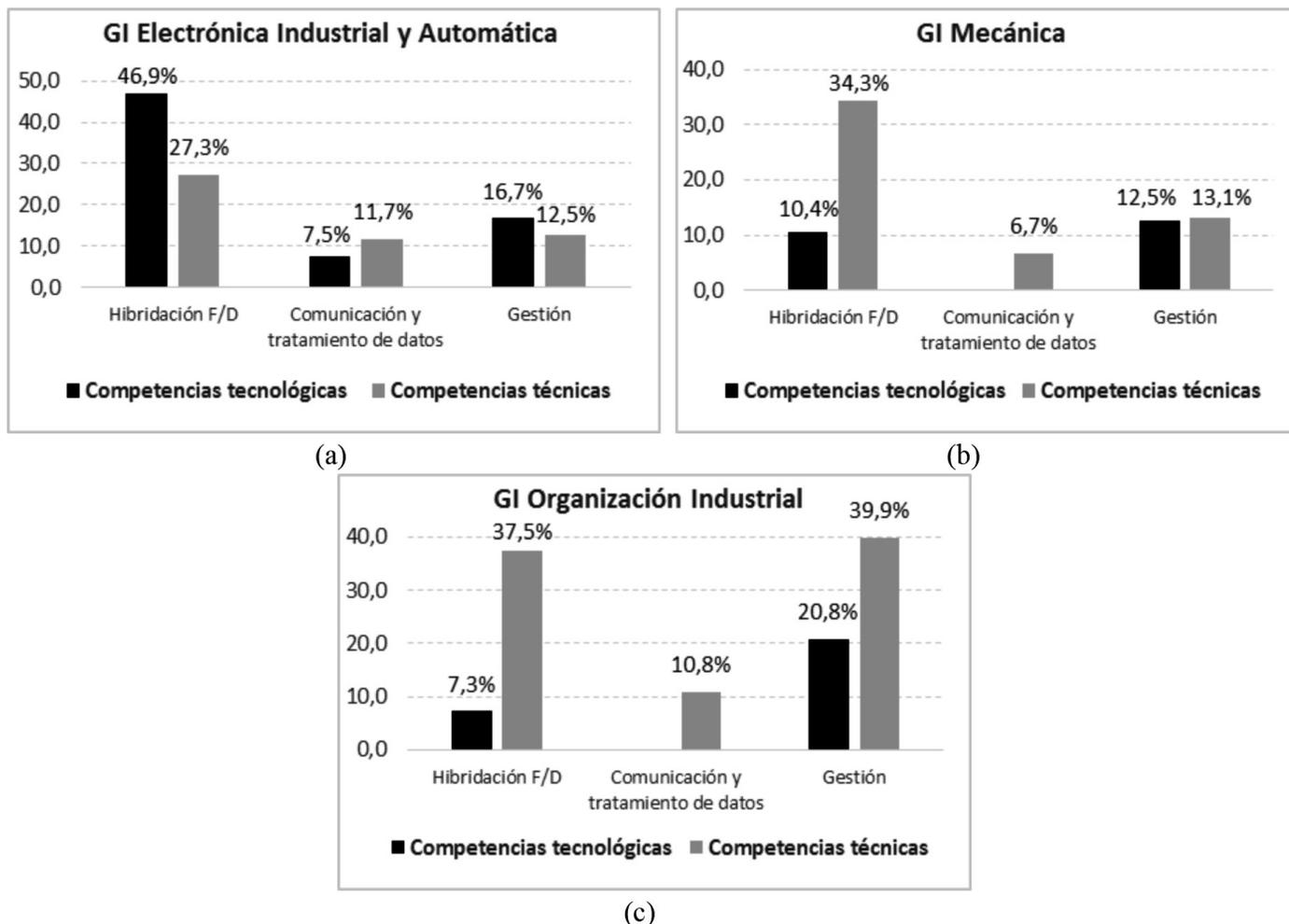
tencias relacionadas con la comunicación y el tratamiento de datos tienen que ver principalmente con conocimientos y habilidades sobre el tratamiento de datos de campo en tiempo real, los sistemas de comunicación de alto nivel, el tratamiento de información en la nube, la gestión de la ciberseguridad, y los sistemas de información para la innovación. Finalmente, las competencias para la gestión de la *Smart Factory* están relacionadas principalmente con conocimientos y habilidades en el uso de tecnologías IT para la aplicación de los fundamentos de la transformación

digital, la gestión del conocimiento y los procesos de negocio de la empresa, el diseño de nuevos modelos de negocio y la gestión de la innovación.

3. RESULTADOS

Las competencias tecnológicas y técnicas deberían cubrirse con las competencias específicas de los planes de estudio de los Grados considerados [14]. No se ha considerado el módulo de optatividad, dado el elevado grado de libertad que tiene cada centro para su organización, que

dificulta establecer patrones comunes a las diferentes titulaciones. Por tanto, cabe apuntar que los resultados numéricos obtenidos de la valoración comparativa de competencias sólo tienen valor en la comparación, y que los valores absolutos de la adquisición de competencias I4.0 identificados, muy posiblemente y de forma general, estén por debajo de los valores reales. Por una parte, algunas competencias I4.0 pueden estar alcanzándose a través de la optatividad, y por otra, cuando cada Centro define las asignaturas dentro de las diferentes materias establecidas y



Fuente: Elaboración propia
 Figura 3: Nivel de adecuación de las competencias de los ingenieros de grado a las competencias I4.0

concretan la forma de alcanzar las competencias correspondientes, seguramente se están estableciendo algunas relaciones con competencias I4.0 de entrada no son evidentes y que por tanto no hemos tenido en cuenta.

La Figura 3 (a) muestra la estructura del perfil competencial I4.0 de los ingenieros de Grado en Electrónica Industrial y Automática de las universidades públicas españolas². Destaca el nivel de las competencias relacionadas con el primero de los habilitadores de la Industria 4.0, la hibridación del mundo físico y el digital, en especial las competencias tecnológicas. En referencia a las competencias correspondientes al habilitador de comunicaciones y tratamiento de datos, la situación es claramente diferente. Se detectan carencias importantes por lo que respecta a las

comunicaciones y el tratamiento de datos de alto nivel (*cloud computing*), encontrándose tan sólo competencias relacionadas con el tratamiento básico de datos de campo y comunicaciones industriales. Finalmente, por lo que respecta al tercer habilitador, las aplicaciones de gestión, la situación es similar, identificándose carencias competenciales principalmente relacionadas con el proceso de transformación digital de la empresa industrial, el *big data*, y la gestión de intangibles y de la innovación. Se trata del Grado que permite a los titulados alcanzar mayores niveles de competencias tecnológicas I4.0.

La Figura 3 (b) presenta la estructura del perfil de adecuación competencial I4.0 de los ingenieros de Grado en Mecánica de las universidades públicas españolas, claramente diferente al anterior. En este caso el nivel de competencias tecnológicas es claramente inferior para los tres habilitadores de la Industria 4.0, especialmente en el caso de la comunicación y tratamiento de datos, donde no se ha encontrado relación alguna entre competencias. Por lo que se refiere a las competencias técnicas,

en los dos últimos habilitadores, los niveles de competencia son parecidos, aunque algo menores, a los de los ingenieros del Grado anterior. Hay que destacar el elevado nivel de las competencias técnicas relacionadas con el primer habilitador de la industria 4.0.

En la Figura 3 (c) se observa la estructura del perfil de adecuación competencial I4.0 de los ingenieros de Grado en Organización Industrial de las universidades públicas españolas, la cual presenta claras diferencias con los dos anteriores. Destacan las competencias relacionadas con el tercer habilitador de la Industria 4.0, las aplicaciones de gestión de la empresa, especialmente las técnicas, y a un menor nivel las competencias tecnológicas, presentando el mayor nivel de todos los Grados considerados. De la misma manera hay que destacar el nivel de las competencias técnicas dentro del habilitador de hibridación del mundo físico y el digital, también con el mayor nivel de los Grados analizados en el presente trabajo. Se trata del Grado que permite a los titulados alcanzar un mayor nivel de competencias

² Los valores numéricos representan el porcentaje medio con que son cubiertas las competencias I4.0 con las actuales competencias de Grado. Los porcentajes se calculan sobre la puntuación máxima de 4, correspondiente a la cobertura total de la competencia I4.0 (Tabla 1).

técnicas I4.0. En este caso las principales carencias tienen que ver con las competencias tecnológicas relacionadas con los dos primeros habilitadores de la Industria 4.0, y en concreto con las tecnologías de la información en planta (sistemas *embedded* para CPS e IoT), las tecnologías avanzadas de fabricación, y las tecnologías relacionadas con las comunicaciones de alto nivel y el *cloud computing*.

4. CONCLUSIONES

El nuevo escenario que se dibuja en la Industria 4.0 plantea exigencias competenciales difíciles de alcanzar plenamente a través de los actuales estudios de Grado relacionados con la ingeniería industrial. Si bien es cierto que es necesario revisar los contenidos de algunas materias de los mencionados Grados, con el objetivo de conseguir un perfil formativo más acorde con las necesidades de la futura fábrica inteligente, ésta no es la única línea de acción. Deben definirse estrategias relacionadas con la optatividad que ayuden a reducir el vacío competencial I4.0, y entender que estas estrategias dependen del perfil competencial concreto del Grado en cuestión. Aunque esta actuación sobre los contenidos del módulo de optatividad puede mejorar considerablemente el perfil competencial del futuro ingeniero de grado, una aproximación más decidida a la Figura del Ingeniero 4.0 pasa por ampliar la formación mediante Masters y/o dobles titulaciones que permitan combinar conocimientos avanzados en el campo de las TIC, las tecnologías de la producción y la gestión del ciclo de negocio. Aun así, la complejidad tecnológica y de gestión que plantea el nuevo escenario exigirá la definición de equipos de trabajo multidisciplinares que permitan completar un marco competencial I4.0 sólido y difícil de alcanzar de forma individual.

El análisis de la situación general de los Grados de Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática, Mecánica, y Organización Industrial realizado en el presente trabajo, pretende contribuir al debate sobre la formación del ingeniero industrial de grado del futuro. La comparación de las competencias I4.0 y las competencias de Grado nos ha permitido identificar la brecha competencial entre el ingeniero de grado actual y el ingeniero de la Industria 4.0 (Ingeniero 4.0). Así, se proponen acciones generales para la mejora de las competencias relacionadas con los tres habilitadores de la Industria 4.0. Estas acciones deberían tener que ver con la mejora de conocimientos en el proceso

de transformación digital de la empresa, los nuevos sistemas de fabricación, la eficacia y la eficiencia en la gestión del ciclo de negocio, y la seguridad.

Las limitaciones del presente trabajo están relacionadas con la metodología de investigación empleada. La consideración directa de las competencias definidas por la ANECA [14] y la componente subjetiva en el establecimiento de relaciones entre estas competencias académicas y las competencias I4.0, no permiten concluir sobre el valor absoluto de la brecha competencial evaluada. En cualquier caso, consideramos, que la estructura de los perfiles competenciales generales establecidos son una vía válida para aproximar la distancia al marco competencial I4.0 del futuro ingeniero industrial de grado. En futuros trabajos, y para superar en parte las limitaciones antes mencionadas, se pretende trabajar con competencias reales de los titulados en los centros que imparten las titulaciones consideradas, e incorporar al estudio las competencias personales.

PARA SABER MÁS

- [1] Kagermann H. "Change Through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0". En Albach H, Meffert H, Pinkwart A, Reichwald, R. (eds.), "Management of permanent change". Springer, 2014 (DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-658-05014-6_2).
- [2] EUROPEAN COMMISSION. "An Integrated Industrial Policy for the Globalisation Era Putting Competitiveness and Sustainability at Centre Stage". Brussels, COM(2010), 614.
- [3] MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO (MINETUR). "La transformación digital de la industria española". Industria conectada 4.0, 2015.
- [4] Drath R, Horch A. "Industrie 4.0: Hit or Hype?" IEEE Industrial Electronics Magazine, 2014, vol. 8 (2), p. 56-58 (DOI: <https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079>).
- [5] Rothwell R. "Towards the fifth-generation innovation process". International Marketing Review, 1994, vol. 11 (1), p. 7-31 (DOI: <https://doi.org/10.1108/02651339410057491>).
- [6] Chryssolouris G, Mavrikios D, Mourtzis D. "Manufacturing Systems: Skills & Competencies for the Future". Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013, p. 17-24 (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.004>).
- [7] Gehrke L, Kühn A-T, Rule D, Moore P, Bellmann C, Siemens S, Dawood D, Lakshmi S, Kulik J, Standly M. "A Discussion of Qualifications and Skills in the Factory of the Future: A German and American Perspective". VDI / ASME Industry 4.0 White Paper, p. 1-28, 2015.

- [8] Lynn Meek V, Van Der Lee J. "Performance Indicators for Assessing and Benchmarking Research Capacities in Universities". Centre for Higher Education Management and Policy - University of New England, Australia. APEID, UNESCO Bangkok Occasional Paper Series - Paper No. 2, 2005.
- [9] Sandberg J. "Understanding human competence at work: an interpretive approach". Academy of Management Journal, 2000 (DOI: <https://doi.org/10.2307/1556383>).
- [10] Bloom B-S (ed.). "Taxonomy of educational objectives: Vol. 1: the cognitive domain". Longman, New York, 1956 (ISBN: 978-0582280106)
- [11] Krathwohl D-R, Bloom B-S, Mesia B-B. "Taxonomy of educational objectives: Vol. 2: the affective domain". New York, David McKay & Co. (ISBN: 978-0582282391).
- [12] Winterton J, Delamare - LE Deist F, Stringfellow E. "Typology of knowledge, skills and competences: clarification of the concept and prototype". CEDEFOP Reference series 64, 2006 (ISBN 92-896-0427-1).
- [13] Bresnahan T-F, Brynjolfsson E, Hitt L-M. "Information Technology, Workplace Organization, and the Demand for Skilled Labor: Firm-Level Evidence". The Quarterly Journal of Economics, 2002, vol. 117 (1), p. 339-376 (DOI: <https://doi.org/10.1162/00335302753399526>).
- [14] ANECA. "GUÍA DE APOYO para la elaboración de la MEMORIA DE VERIFICACIÓN DE TÍTULOS OFICIALES UNIVERSITARIOS". Unidad de Evaluación de Enseñanza e Instituciones, 2012 (ISBN 978-84-694-5102-1).