

De las nanotecnologías a la industria 4.0: una evolución de términos*

Das nanotecnologias à indústria 4.0: uma evolução de termos

From Nanotechnologies to Industry 4.0: An Evolution of Terms

Guillermo Foladori** y Ángeles Ortiz-Espinoza***

DOI: 10.30578/nomadas.n55a4

El objetivo de este artículo es resaltar el lugar destacado que tienen las nanotecnologías en el desarrollo de la llamada Ind. 4.0 y del IoT. En tal sentido, los autores analizan cómo en el transcurso de las primeras dos décadas del siglo XXI la terminología referida al desarrollo tecnológico se vio modificada, y tras la crisis del 2008 el término nanotecnología pasó a segundo plano y cobraron fuerza otros como IoT o Ind. 4.0. Finalmente, llaman la atención sobre cómo, en términos materiales, no hubo tal cambio: las nanotecnologías continuaron teniendo una presencia significativa y constituyen el corazón de la Ind. 4.0.

Palabras clave: IoT, Ind 4.0, nanosensores, nanoactuadores, dispositivos nanoelectromecánicos, tecnologías disruptivas.

O objetivo deste artigo é ressaltar o lugar destacado que têm as nanotecnologias no desenvolvimento da chamada Ind. 4.0 e do IoT. Em tal sentido, os autores analisam como no transcurso das primeiras duas décadas do século XXI a terminologia referida ao desenvolvimento tecnológico se viu modificada, e após a crise de 2008 o termo nanotecnologia passou a segundo plano e cobraram força outros como IoT ou Ind. 4.0. Finalmente, o artigo chama a atenção sobre como, em termos materiais, não teve lugar tal câmbio: as nanotecnologias continuaram a ter uma presença significativa e constituem o coração da Ind. 4.0.

Palavras-chave: IoT, Ind. 4.0., nanosensores, nanoatuadores, dispositivos nanoelectromecânicos, tecnologias disruptivas.

The purpose of this article is to highlight the prominent place that nanotechnologies have in the development of so-called Ind. 4.0 and the IoT. In this sense, the authors analyze the course of the first two decades of the 21st century and how the terminology referring to technological development was modified after the 2008 crisis when the term nanotechnology fell into the background of other terms such as IoT or Ind 4.0. Finally, they draw attention to how, in material terms, there was no such change: nanotechnologies continued to have a significant presence and constitute the heart of Ind. 4.0.

Keywords: IoT, Ind 4.0, Nanosensors, Nanoactuators, Nanoelectromechanical Devices, Disruptive Technologies.

* Este artículo forma parte del Proyecto en curso "Ciencia de Frontera 304320 - Una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México acorde a las prioridades socio-económicas nacionales", financiado por Conacyt y ejecutado por la Unidad Académica en Estudios del Desarrollo (UAED), Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), México. Periodo del proyecto: 2020-2023.

** Profesor investigador de la Unidad Académica en Estudios del Desarrollo, Universidad Autónoma de Zacatecas (México). Doctor en Economía. Correo: gfoladori@gmail.com

*** Doctoranda en Estudios del Desarrollo, Unidad Académica en Estudios del Desarrollo, Universidad Autónoma de Zacatecas (México). Maestra en Administración y Políticas Públicas. Correo: angeles.ortiz.espinoza@gmail.com

original recibido: 05/04/2021
aceptado: 05/10/2021

ISSN impreso: 0121-7550
ISSN electrónico: 2539-4762
nomadas.ucentral.edu.co
nomadas@ucentral.edu.co
Págs. 63~73

El siglo XX irrumpió con la panacea de las nanotecnologías. Desde que los Estados Unidos lanzaron su Iniciativa Nacional de Nanotecnología en el año 2000, este tipo de tecnologías se convirtió en la esperanza para curar todos los males imaginables. Filtros para agua potable y para desalinizar; fármacos dirigidos a las células que debían tratarse; energías limpias con costos menores a los tradicionales hidrocarburos; alimentos que integran suplementos; tejidos autolimpiadores; vidrios inteligentes para captar energía y evitar la suciedad, son algunos ejemplos de la multiplicidad de productos que propiciaron el surgimiento de cientos de *start-ups* en los más variados campos científicos, los cuales obtenían financiamiento de capitales de riesgo incentivados por la posibilidad de una inversión que pudiera dejar atrás la caída estrepitosa de las acciones de las compañías *punto com* del 2001. Esta alza del financiamiento fue acompañada por el incremento de artículos científicos sobre el tema y la presencia en medios del término nanotecnología.

Lo primero que desapareció con la crisis del 2008 fueron los capitales de riesgo y los inversionistas *ángeles* de nanotecnologías. El capital financiero mostró el rumbo: la mayoría de las *startups* se vendieron, quebraron o se asociaron a grandes corporaciones. Para el 2015 Kelleher resume lo ocurrido en la revista *Time*:

Of all the investment fads and manias over the past few decades, none have been as big of a fizzle as the craze for nanotech stocks. Ten years ago, venture capitalists were scrambling for investments, startups with “nano” in their names flourished and even a few nanotech funds launched hoping to track a rising industry.

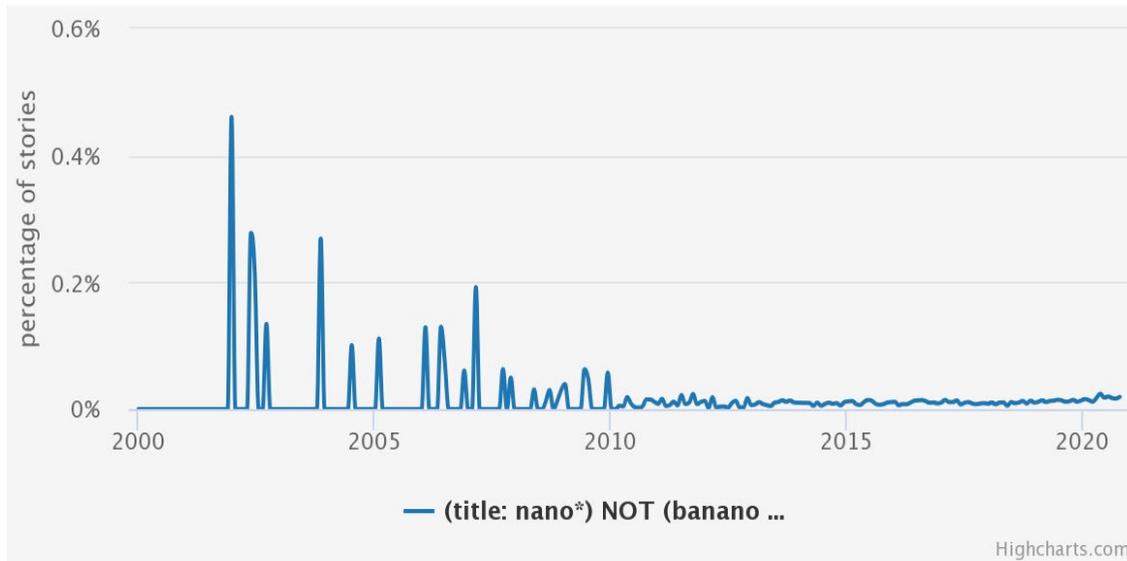
And today? Nobody in the stock market gets excited about the phrase “nanotech” anymore. Which is strange, because nanotechnology itself – that is, the science and engineering conducted on a molecular scale, measuring less than 100 nanometers – is yielding applications and products in a number of industries, just as its more sensible supporters have long predicted (Kelleher, 2015)¹.

Los medios de comunicación también disminuyeron la presencia relativa del término nanotecnologías durante la segunda década (véase figura 1) y los artículos científicos vieron enlentecer las investigaciones sobre *nano* en general, mientras iban despuntando aquellas que conectaban directamente nanodispositivos con la industria 4.0 (Ind. 4.0) y el internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés). La figura 1 muestra la caída relativa de la presencia mediática de las nanotecnologías desde la segunda década del siglo XXI.

En contraste con la retracción de las finanzas y las noticias, y parcialmente de las publicaciones científicas, la producción de mercancías que utilizan componentes nanotecnológicos continuó creciendo con más de 5.000 para comienzos del 2021, cuando en el 2015 había 1.400, de acuerdo con datos de la Universidad Tecnológica de Dinamarca (DTU Environment *et al.*, n. d.).

La explicación de la disminución relativa en el ámbito de las finanzas y los medios de comunicación, a la par de los artículos científicos sobre el término *nano* en su acepción general, frente al incremento permanente en los artículos de investigación en *nano* ligados a la Ind. 4.0 y a la IoT, y en la producción de mercancías, radica en el diferente ámbito al cual responden los

Figura 1. Porcentaje de noticias con el término nan* en relación con el total de noticias. Principales medios de comunicación con noticias impresas en la web



Fuente: elaboración propia a partir del *software* Media Cloud. Búsqueda: (title: nano*) NOT (banano OR iPod). Noticias del Global English Language Sources. Periodo: 01/01/2000 al 11/02/2021.

agentes de los dos grupos. Mientras las finanzas y los medios de comunicación están vinculados al mercado y al comercio, las publicaciones científicas están más ligadas al devenir de la industria y la producción. Esta interrelación muestra una dialéctica entre fuerzas de forma y de contenido, es decir, un cambio superficial en el mundo académico-científico y de noticias y publicitario, pero no en el mundo material.

Durante la segunda década del siglo XXI, que es cuando ocurre el cambio mencionado, el término nanotecnologías se subsumió al de Ind. 4.0, IoT y otros términos relacionados con las tecnologías disruptivas, correspondientes a la llamada cuarta revolución industrial. Por su parte, el de nanomateriales hizo lo propio con el de materiales inteligentes. En lo que sigue explicamos esta evolución y la jerarquía que han logrado los nanosensores y los nanoactuadores dentro del desarrollo nanotecnológico.

Además de esta introducción, el presente texto se divide en tres apartados. Primero, se trata el tema del surgimiento y desarrollo de las nanotecnologías como revolución tecnológica y su aparición en el espectro público. Posteriormente, se establecen las características que definen a la Ind. 4.0 y cómo estas subsumen el tér-

mino nano. Por último, el trabajo expone las principales conclusiones. Por no ser su objetivo, el presente texto no ahonda en las definiciones de Ind. 4.0 y cuarta revolución industrial, término con el que se le suele asociar.

Nanotecnologías: convergentes y de amplio espectro

En las últimas seis décadas, las revoluciones tecnológicas han sido de aplicación más extendida que las antiguas. Las primeras revoluciones tecnológicas del capitalismo tuvieron su impulso en cambios energéticos (carbón/vapor, hidrocarburos/electricidad, motor de combustión interna). A partir de la década de 1970, surgieron tecnologías de mayor espectro de aplicación como lo es el procesamiento y la transmisión de información (tecnologías de la información y la comunicación (TIC)), o de manipulación de seres vivos (biotecnología). Fue a principios del siglo XXI que las nanotecnologías irrumpieron en el mercado. Estas tienen como centro de impulso la materia, en un sentido amplio, ya que su potencial está en la posibilidad de utilizar las nuevas propiedades que la materia manifiesta en tamaño nanométrico (RS y RAE, 2004). Esta una revolución industrial que penetra todos los sectores

económicos de manera más o menos simultánea, porque todos los sectores utilizan algún tipo de material y estos pueden ser manipulados en tamaño nano desarrollando novedosas funcionalidades.

A medida que las revoluciones tecnológicas avanzan en el tiempo, se hacen cada vez más multipropósito o facilitadoras de muchas otras (Bresnahan y Trajtenberg, 1995; Shea *et al.*, 2011). Además, puede distinguirse una estratificación de tecnologías, ya que la mayoría de las que resultan en un producto concreto se basan en otras tecnologías sobre las que se superponen. Cuanto más en la base de la pirámide, más facilitadoras son las tecnologías: las nanotecnologías están en la base de prácticamente todas las otras. Así, tecnologías que hoy se consideran de vanguardia como la inteligencia artificial, el IoT, *big data*, el *blockchain*, la 5G, la impresión 3D, la robótica, los drones, el proceso de edición genética y la energía solar fotovoltaica (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), 2021, p. XVI), tienen en su base aquellas que permiten digitalizar, almacenar, establecer interfases de actividad entre datos y materia, transmitir y conectar usuarios, y ellas derivan de los sistemas micro y nanoelectromecánicos, ópticos y satelitales. En la base están los chips actuadores y otros dispositivos que reúnen e ilustran por sí mismos las tendencias surgidas de la revolución de las TIC: digitalización, miniaturización, conectividad y automatización. Las nanotecnologías, por sus características, están en la base de esas pirámides y representan más fielmente aquellas tendencias; por ello, los MEMS (sistemas microelectromecánicos) tienden a convertirse en NEMS (sistemas nanoelectromecánicos).

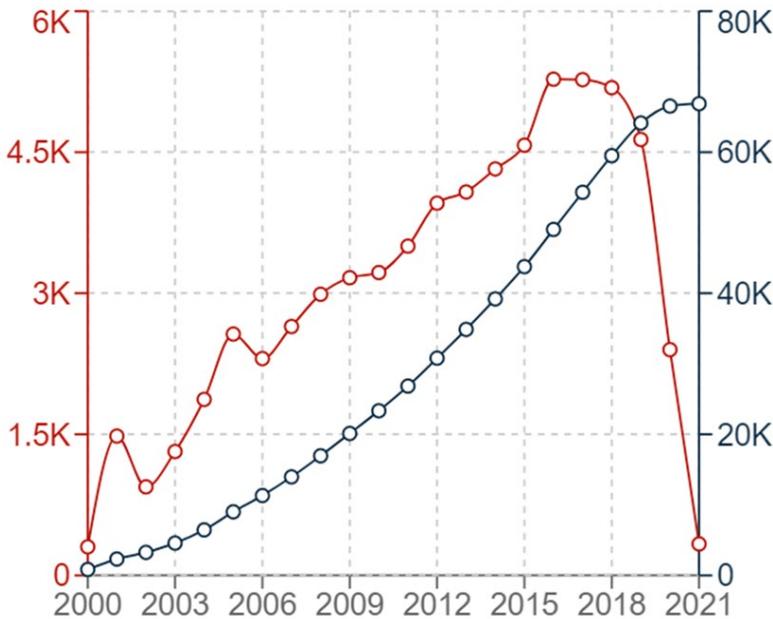
Las nanotecnologías son una revolución tecnológica reciente puesto que se requirió el desarrollo de los microscopios atómicos a finales de los años ochenta y durante los noventa para que las nuevas manifestaciones de la materia –que en muchos casos ya se conocían– pudieran ser medidas con precisión. Además, el lanzamiento de la Iniciativa Nacional de Nanotecnología en Estados Unidos en el año 2000 llevó a que muchos otros países invirtieran en investigación y desarrollo (I+D) de nanotecnologías para no quedar rezagados. La manipulación de la materia en tamaño nano tanto para investigación como para las aplicaciones productivas requiere la *expertise* química, física, ingeniera y, según el ámbito, también biológica y médica. Por

ello, los primeros documentos sobre nanotecnologías siempre hacen alusión a la convergencia tecnológica, situación que va ligada a que las fuerzas físico-químicas y de la vida a nivel atómico y molecular borran las barreras disciplinarias creadas por la división científica del trabajo (M. Roco y Bainbridge, 2003; M. C. Roco, 2003).

La invasión de las nanotecnologías en los diferentes sectores productivos no se hizo esperar y sus productos continúan ingresando al mercado sin normatividades o reglamentaciones adecuadas (DTU Environment *et al.*, n. d.), ya que a pesar de incorporar materiales cuyo desempeño químico-físico es semejante a un elemento desconocido, la legislación los trata como materiales conocidos, evitando así las limitaciones mercantiles de una regulación *ad hoc* de tóxicos.

Uno de los primeros y principales sectores de desarrollo de las nanotecnologías ha sido la electrónica, área que, siguiendo la tendencia a la miniaturización de los dispositivos, impulsó un salto significativo en los tamaños y en la promisoría potencialidad de tránsito hacia la computación cuántica. La confluencia del tamaño y las nuevas funcionalidades han hecho de los nanosensores y los nanoactuadores el aspecto crucial de la Ind. 4, la cual no puede considerarse una revolución tecnológica en el sentido de modificar una fuente energética, generar una tecnología específica o alterar la forma de manipulación de la materia, sino que es una confluencia de tecnologías en la cual las nanotecnologías desempeñan uno de los papeles centrales a la par de las TIC y el internet industrial. Tal como mencionan Schütze *et al.* (2018, p. 359), “la Ind.4.0, calificada como la cuarta revolución industrial, es más una visión política que un nuevo paradigma técnico”, basta decir que el propio término surge como una serie de recomendaciones de la Academia Alemana de Ciencia e Ingeniería (Acatech, por sus siglas en alemán) a fin de generar una estrategia de política industrial basada en la alta tecnología (Acatech, 2013). El término Ind. 4.0 como paradigma político reaparece en los medios de comunicación, en los proyectos de investigación y en los programas de gobierno, subsumiendo el de nanotecnologías; pero ello no significa que estas últimas no continúen en la base de la Ind. 4.0, basta para ello ver un indicador más ligado a la producción material como es la evolución de las patentes que incorporan el término nanotecnologías en su descripción, como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Evolución de las patentes en nanotecnología 2000-2018



Fuente: elaboración propia a partir de Espacenet (Agencia Europea de Patentes). Búsqueda: nanotechnology. Línea roja: casos por año. Línea negra: casos acumulados. Fecha de la búsqueda: 25-08-2021. Datos para todas las bases de datos de patentes que Espacenet registra. Dado que el proceso de registro y adjudicación de patentes es demorado, debe considerarse el 2018 como la última fecha significativa.

La curva de los casos anuales no muestra ninguna caída para la segunda década del siglo XXI, contra lo que podría pensarse de la información pública de noticias y otras fuentes más atadas al comercio, la propaganda y la política; por el contrario, es probable que algunas ramas de las nanotecnologías adquieran una relevancia aún mayor, como es el caso de los nanosensores, que se verá a continuación.

La industria 4.0 y las nanotecnologías

Una buena parte de los artículos que tratan sobre Ind. 4.0 se refiere a ella como la confluencia de una serie de tecnologías: *big data*, IoT, cómputo en la nube, *machine to machine* (M2M), 5G, aprendizaje automático, robótica, impresión 3D y sistemas ciberfísicos (Oztemel y Gursev, 2020). A grandes rasgos, las aplicaciones de conectividad para dispositivos individuales se han transformado en sistemas integrados con distintos niveles de interconexión (Li Da *et al.*, 2014); los gráficos y los diseños que ilustran sobre el alcance de la Ind. 4.0 dan a entender la posibilidad de una total integración de las personas con los objetos, los equipos, la maquinaria, la construcción

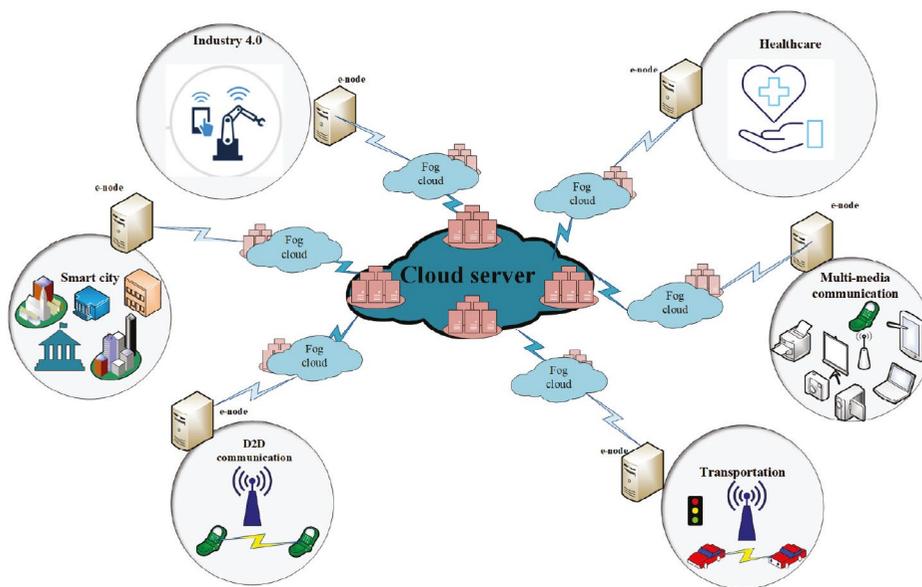
e incluso con el medio ambiente (figura 3, siguiente página).

Muchas de las tecnologías listadas son preexistentes al término Ind. 4.0, además, las diferentes definiciones que la caracterizan incluyen ejemplos de variable cantidad y tipo de tecnología, lo que ocasiona una falta de claridad con respecto a cuál es el centro de esta supuesta revolución tecnológica, o qué es lo que provoca la interconexión de estas tecnologías (Oztemel y Gursev, 2020). En lo que sigue planteamos que una conectividad inalámbrica con velocidad de transmisión en tiempo real, simultaneidad de envío-recepción de información y capacidad de operación prácticamente ilimitada debe ser el punto de partida que caracterice a la Ind. 4.0, todo lo cual trae consigo la aplicación de nanomateriales.

Para que sea posible una conectividad con las características mencionadas, la presencia de MEMS y NEMS es indispensable en sus tres fases: la física, la de redes y la de aplicaciones inteligentes. Mientras que la fase física identifica los elementos utilizando sensores, actuadores y dispositivos terminales, la fase de redes los conecta a través de la nube o un medio físico, ya sea de manera abierta o privada. Por su parte, la fase de aplicaciones inteligentes utiliza diversos tipos de conectividad para generar procesamiento y retroalimentación a toda la estructura y su automatización (Basir *et al.*, 2019, p. 2). Puesto que los MEMS/NEMS apropiados captan movimientos físicos, cambios químicos y biológicos, los codifican, los almacenan, los envían y reciben retroalimentación, la gama de estos dispositivos está en la base de la Ind. 4.0.

Ciertamente, la Ind. 4.0 tiene como centro a la conectividad, la cual depende de la industria opto-micro/nano-electrónica (y otras asociadas como la de satélites), y esta a su vez del uso de dispositivos que exigen la manipulación de la materia en

Figura 3. Visión general de la Industria 4.0



Fuente: Basir et al. (2019).

tamaño atómico y molecular, es decir, nanotecnologías. Más aun, el primer segmento de la cadena de valor del IoT corresponde a la fabricación de dispositivos con sensores especializados en la captura de datos (Castillo, 2017).

Cabe señalar que no todos los NEMS/MEMS tienen el mismo nivel de jerarquía. Así, los nanosensores, sean biológicos o electromecánicos, son los que permiten codificar digitalmente señales fisicoquímicas provenientes de la naturaleza de la materia incorporada (Cano Olivera y Pérez Castillo, 2008). Otros MEMS/NEMS reciben señales ya codificadas y las almacenan, transforman o modifican. De no ser por los sensores, no habría conectividad entre la materia y el procesamiento de la información.

El término sistemas ciberfísicos encierra la dependencia de nano y microsensores que miden diversas condiciones. Estos sensores constituyen el primer nodo de información: *nanonodos*. A partir de ellos se escalan *nanorouters*, con mayor capacidad de almacenamiento y procesamiento de información, para así llegar a las *interfases*; nodos más complejos que actúan como *gateway* de las redes de nanosensores y que

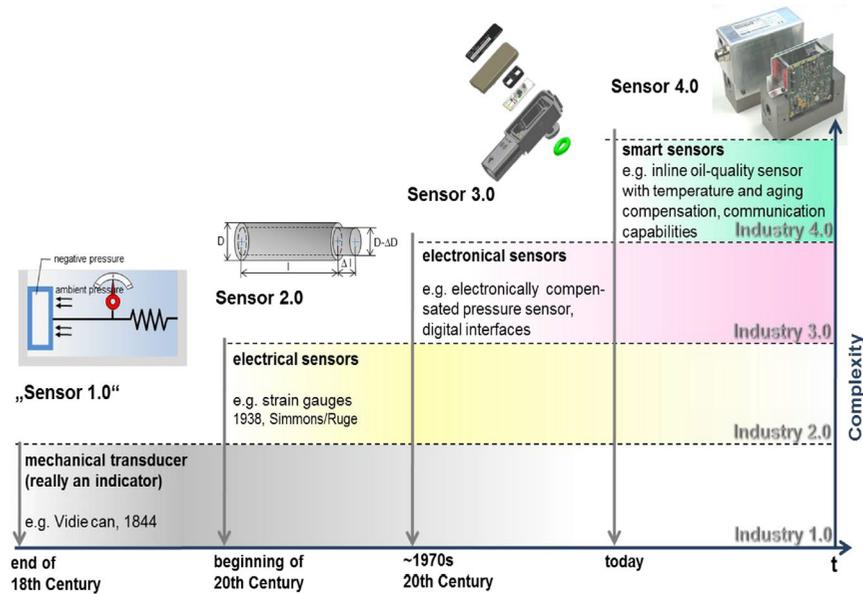
permiten conectarse con el resto del mundo (Piro et al., 2013). En los tres niveles se encuentran los nanosensores, es decir, son el núcleo central de la Ind. 4.0 y las tecnologías disruptivas que acompañan (Critchley, 2019).

Los sensores tienen una larga historia, pero la aplicación de los sensores inteligentes (*smart sensors*) corresponde a los requerimientos de interconectividad y automatización de la Ind. 4.0, como se puede observar en la figura 4.

Como resultado de la pandemia mundial de covid-19, es previsible que se profundice la automatización de todos los sectores económicos (Foladori y Delgado Wise, 2020; McKinsey & Company, 2021) y, con ello, un nuevo auge para el desarrollo y la expansión de los nanosensores y los nanoactuadores, como pronostican los seguidores de las finanzas internacionales:

The covid-19 outbreak is speeding up the adoption of Industry 4.0, leading enterprises across industries into a more sophisticated state of the IoT technology and workflow using sensors that influence production, maintenance with modified service intervals, human resources with new

Figura 4. Evolución histórica de los sensores por tipo



Fuente: Schütze *et al.* (2018, p. 360).

job requirements, and marketing with new and detailed knowledge of customers' individual use cases (Mordon Intelligence, n. d.)²

El auge de las nanotecnologías fue un proceso mayoritariamente *top-down*. Fuertes financiamientos estatales en los países desarrollados condujeron a incentivar la I+D y, consecuentemente, la producción y el mercado de productos con nanotecnología. La política comandó la revolución tecnológica, aunque las investigaciones de las propiedades de la materia en tamaño nano daten de los años cincuenta, y simultáneamente las finanzas y la propaganda apoyaron las nanotecnologías. La Ind. 4.0, por el contrario, es un proceso "natural" de la confluencia tecnológica y del alto grado de concentración del capital a nivel mundial, ya que es imposible que penetre en pequeñas, medianas y hasta grandes empresas que no tengan diversificado su ciclo productivo por el mundo y que estén explotando el *big data* generado por el IoT. Sin embargo, el auge de la automatización y de la Ind. 4.0, que previsiblemente ocurrirá desde el inicio de la tercera década de este siglo, está vinculado a la destrucción ambiental provocada por el sistema económico imperante, expresada en su fatídico exponente: el SARS-CoV-2. Esto enseña que las

revoluciones tecnológicas deben ser abordadas de forma interdisciplinaria y teniendo en cuenta muchos más factores que las meras relaciones técnicas consideradas por los voceros de la innovación para el desarrollo.

Uno de los ejemplos más palpables de que los nanosensores están en el corazón de la Ind. 4.0 son los teléfonos inteligentes. Muchas industrias utilizan *smartphones* para hacer seguimiento al ciclo de vida del proceso productivo en sentido amplio. Sofisticados teléfonos pueden incluir cerca de 15 diferentes tipos de sensores, incorporando acelerómetros, giroscopios, magnetómetros o sensores de presión, o bien monitoreando el clima o la temperatura (Schütze *et al.*, 2018, p. 360). Cada vez más, la tendencia de las grandes empresas es transformar los dispositivos de sus productos a fin de hacerlos más inteligentes, es decir, conectados, autónomos e interactivos (Castillo, 2017).

Los nanosensores han tomado la delantera en las investigaciones de nanotecnología, arropados por la demanda de los diferentes sectores de la Ind. 4.0. A fin de corroborar este aserto, se hizo un seguimiento de los artículos publicados en la *Web of Science* sobre nanotecnología y nanosensores e Ind. 4.0, con la intención de

analizar el incremento y el declive de los términos mencionados en el periodo que va del año 2000 a la fecha y que se vinculan con el avance tecnológico actual. La evolución de los artículos científicos sobre nanotecnología en general y sobre nanosensores en particular se ilustra en la figura 5.

Nótese cómo se enlentece la producción total de artículos que incluyen el prefijo nano* en el título, mientras que los que llevan la palabra nanosensores despuntan a partir de una fecha coincidente con el arranque mediático de los términos Ind. 4.0 e IoT. Lo anterior denota la reducción en la investigación referente a otras nanotecnologías distintas a los sensores y la alta concentración de la investigación en lo que toca a los instrumentos clave que sostienen la cadena de producción de la Ind. 4.0 y el IoT.

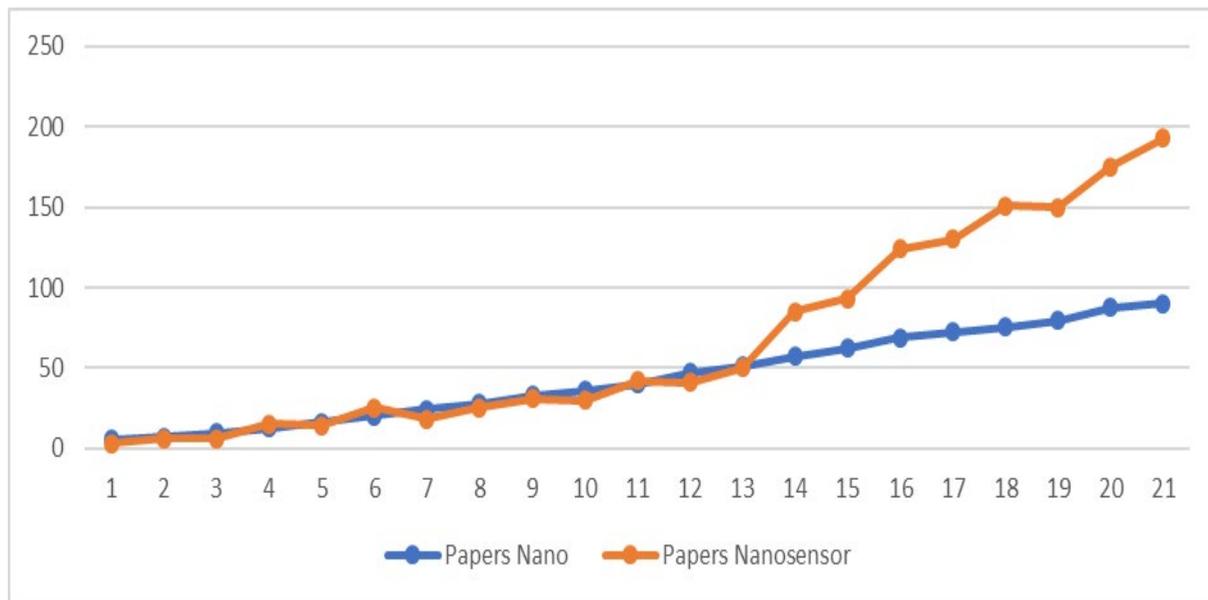
En esta misma línea, el caso de México ilustra cómo el cambio de términos se aprecia también a nivel institucional. Para ejemplificar este punto, se encuentra que la mayoría de los proyectos auspiciados por los llamados fondos mixtos (Fomix), instrumentos presupuestales cuyo objetivo era apoyar el desarrollo científico y tecnológico de los gobiernos subnacionales en México, se postularon en el periodo 2008-2010

y alcanzaron un monto aproximado de 140 millones de pesos. Posteriormente a esa fecha, los proyectos de nano parecen desaparecer, sin embargo, los lineamientos de política industrial de la Secretaría de Economía, la cual absorbió algunos de los programas extintos con la reciente desaparición de los fideicomisos públicos en México, hacen mención del impulso a la Ind. 4.0 y la necesidad de capacitación a este respecto (Ortiz Espinoza *et al.*, 2021).

Conclusiones

El propósito de este artículo ha sido resaltar el lugar destacado que tienen las nanotecnologías en el desarrollo de la llamada Ind. 4.0 y el IoT. El texto muestra cómo a partir de las dos primeras décadas de este siglo ocurrió un cambio en la terminología referida al desarrollo tecnológico. Del 2001, cuando se lanzó la National Nanotechnology Initiative en los Estados Unidos, hasta poco antes del 2010, las nanotecnologías estaban en las noticias diarias de los periódicos, en tanto que la cantidad de artículos científicos sobre el tema crecía exponencialmente. Al pasar esa fecha, el término perdió fuerza mediática y los conceptos de IoT e Ind. 4.0 ocuparon su lugar en el discurso público.

Figura 5. Artículos científicos con nano* vs. nanosensores en el título



Fuente: elaboración propia con base en la *Web of Science*.

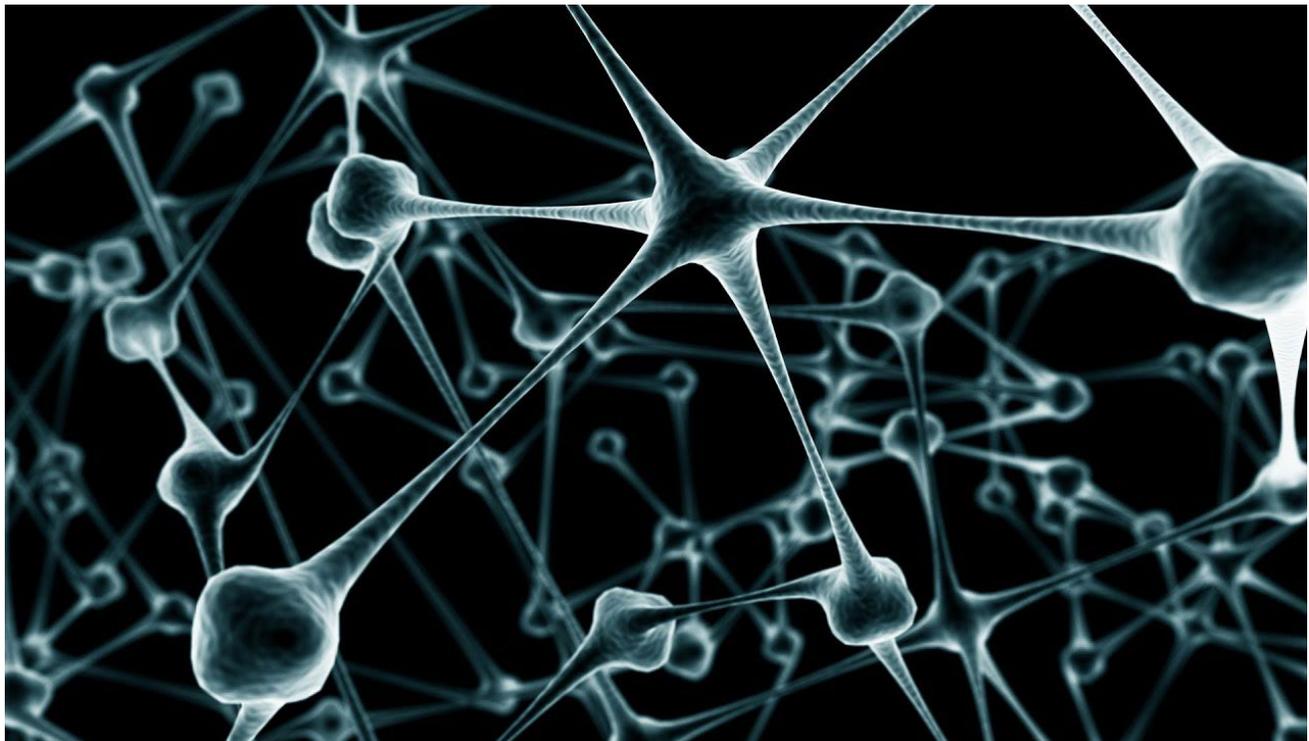
El rápido desarrollo científico-tecnológico se caracteriza por integrar las diferentes tecnologías, potenciarlas y abarcar cada vez más sectores económicos. Términos de moda como IoT o Ind. 4.0 son ejemplos elocuentes; se trata de términos que engloban viejas y nuevas tecnologías como la electrónica y el satélite, el láser, los diversos y novedosos procesos químicos, las ondas electromagnéticas y el mismo internet.

Con anterioridad, las revoluciones tecnológicas se identificaban por su fuente de energía (vapor, electricidad), hoy las tecnologías que se integran son tan variadas que los términos de identificación pasan a ser sustantivos comunes que adjetivan los conceptos sin que esto implique un mayor contenido analítico. Sin embargo, el hecho de que su nombre no identifique la característica sustantiva del cambio tecnológico no significa que este no exista.

Este artículo muestra que las nanotecnologías, que irrumpieron en la escena técnica y en el mercado durante la primera década de este siglo, acaparando los

titulares y las referencias en la prensa y los artículos científicos, fueron poco a poco desapareciendo del discurso público. Empero, ello no implica su abandono en términos de investigación y desarrollo tecnológico, por el contrario, una de sus aplicaciones cobró muchísima fuerza, el IoT en la Ind. 4.0, siendo las nanotecnologías el punto de partida de su ciclo de funcionamiento en la forma de nanosensores y nanoactuadores, que juntos conectan el mundo físico con el orgánico en general y con el humano en particular.

De acuerdo con la revisión de la literatura y su ordenamiento analítico, en el artículo afirmamos que el cambio material sustancial que dio origen a la Ind. 4.0 son las nanotecnologías, aun cuando el término perdió su auge mediático en años recientes debido a la complejización de los productos derivados de lo nano. El concepto de Ind. 4.0 encierra diversas acepciones y definiciones, pero todas las características de fondo que las definen se relacionan con la conectividad, los nanosensores y los nanoactuadores que integran cada una de las tecnologías disruptivas que intervienen en el proceso.



▪ Esquema y estructura ADN | Tomada de: Wallpaperbetter.com

Notas

1. “De todas las modas y manías de inversión en las últimas décadas, ninguna ha sido tan grande como la locura por las acciones de nanotecnología. Hace diez años, los capitalistas de riesgo luchaban por inversiones, los startups con ‘nano’ en sus nombres florecieron e incluso se lanzaron algunos fondos de nanotecnología con la esperanza de rastrear una industria en ascenso. ¿Y hoy? Ya nadie en el mercado de valores se entusiasma con la frase ‘nanotecnología’. Lo cual es extraño, porque la nanotecnología en sí, es decir, la ciencia y la ingeniería realizadas a escala molecular que miden menos de

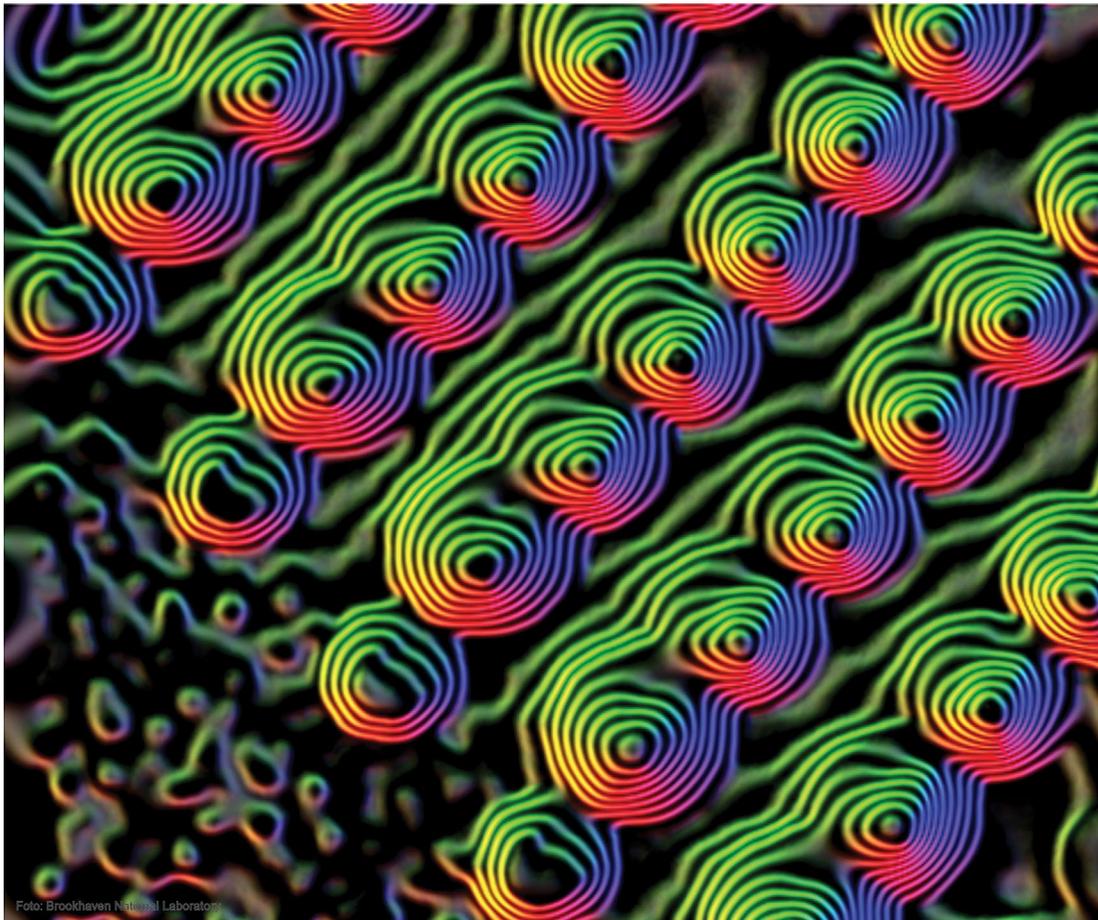
100 nanómetros, está generando aplicaciones y productos en varias industrias, tal como lo han predicho sus partidarios más sensibles”.

2. “El brote de covid-19 está acelerando la adopción de la Industria 4.0, lo que lleva a las empresas de todas las industrias a un estado más sofisticado de la tecnología y el flujo de trabajo de IoT utilizando sensores que influyen en la producción, el mantenimiento con intervalos de servicio modificados, los recursos humanos con nuevos requisitos laborales y el marketing. con conocimiento nuevo y detallado de los casos de uso individuales de los clientes”.

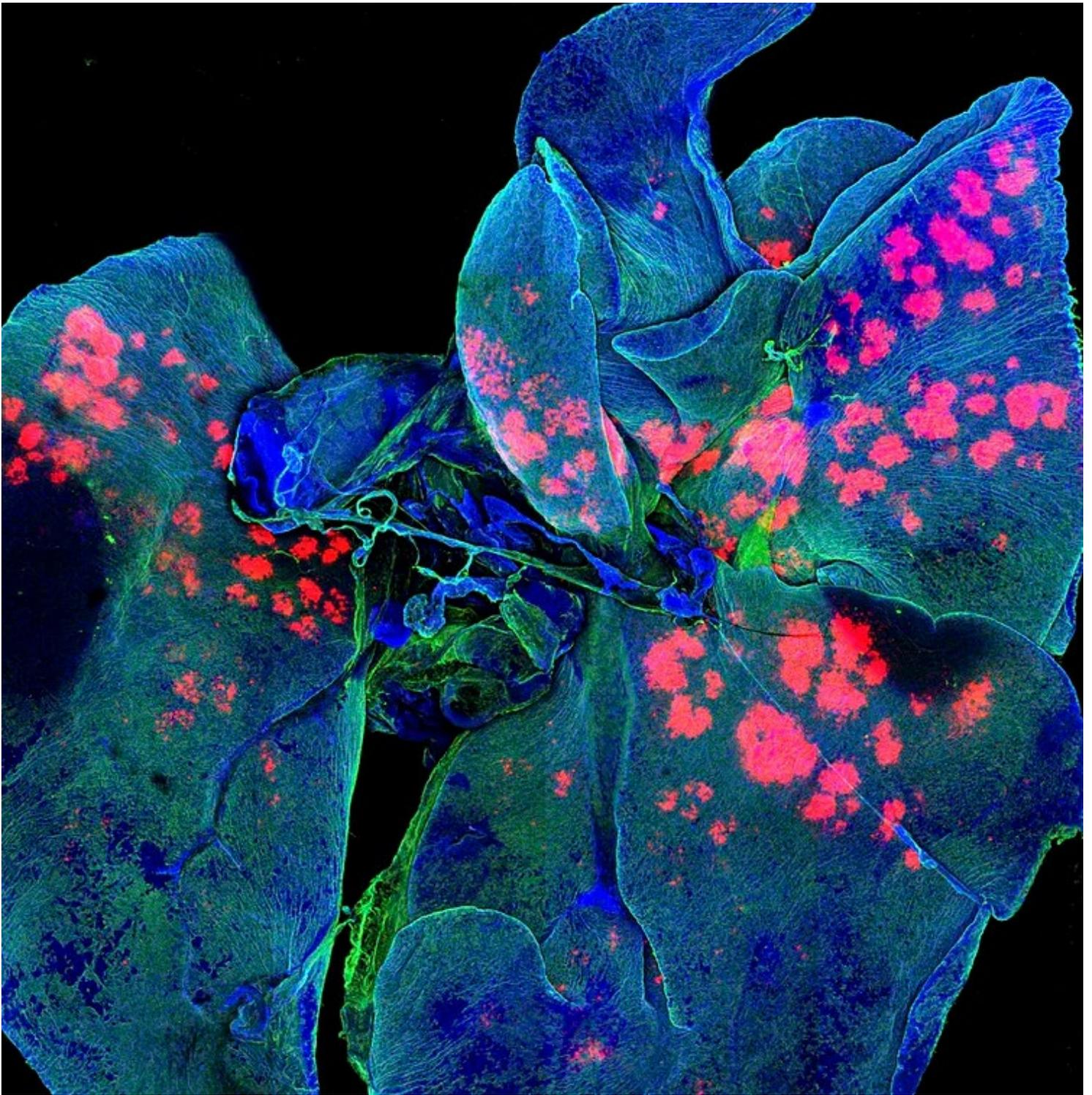
Referencias bibliográficas

1. ACADEMIA ALEMANA de Ciencia e Ingeniería (Acatech) (2013). *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0*. <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993ffd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>
2. BASIR, R., Qaisar, S., Ali, M., Aldwairi, M., Ashraf, M. I., Mahmood, A. y Gidlund, M. (2019). Fog Computing Enabling Industrial Internet of Things: State-of-the-Art and Research Challenges. *Sensors*, 19(21), 4807. <https://doi.org/10.3390/s19214807>
3. BRESNAHAN, T. F. y Trajtenberg, M. (1995). General Purpose Technologies “Engines of Growth”? *Journal of Econometrics*, 65(1), 83-108. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01598-T](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01598-T)
4. CANO OLIVERA, L. E. y Pérez Castillo, J. N. (2008). Simulación de nanosensores para detectar partículas contaminantes utilizando sistemas de información. *Ingeniería*, 13(2), 29-35.
5. CASTILLO, M. (2017). *La internet industrial para el cambio estructural en América Latina*. IBEI Working Papers, 1-43.
6. CRITCHLEY, L. (2019, 3 de enero). *Where Nanotechnology, the IoT, and Industry 4.0 Meet [Www.mouser.com]. Bench Talk for Design Engineers*. <https://www.mouser.com/blog/where-nanotechnology-the-iot-and-industry-40-meet>
7. DTU ENVIRONMENT, Danish Ecological Council, Danish Consumer Council (n. d.). *Welcome to The Nanodatabase. The Nanodatabase*. <https://nanodb.dk/>
8. FOLADORI, G. y Delgado Wise, R. (2020). Para comprender el impacto disruptivo del covid-19, un análisis desde la crítica de la economía política. *Migración y Desarrollo*, 18(34), 139-156.
9. KELLEHER, K. (2015, 9 de octubre). Here’s Why Nobody’s Talking About Nanotech Anymore. *Time*. <https://time.com/4068125/nanotech-sector/>
10. LI DA, X., Wu, H. y Shancang, L. (2014). Internet of Things in Industries: A Survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4).
11. MCKINSEY & Company (2021). *The Future of Work after COVID-19 | McKinsey*. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/the-future-of-work-after-covid-19?cid=other-eml-nsl-mip-mck&chlkid=8fd289166bab48159c0060bcc9a3e525&chctky=12119759&chdpid=c34431cd-9bfl-49ec-bcaa-d6226c178a67>
12. MORDON INTELLIGENCE (n. d.). *Smart Sensors Market | Growth, Trends, Forecasts (2020-2025)*. Mordon Intelligence. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-smart-sensors-market-industry>
13. ORTIZ ESPINOZA, Á., Foladori, G. y Záyago, E. (2021). Financiamiento público para nanotecnologías: el caso de Fomix y Fordecyt [en dictaminación]. Proyecto CONACYT ciencia de frontera 2019 n.º 304320.
14. OZTEMEL, E. y Gursev, S. (2020). Literature Review of Industry 4.0 and Related Technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 127-182. <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>
15. PIRO, G., Grieco, L. A., Boggia, G. y Camarda, P. (2013). Simulating Wireless Nano Sensor Networks in the NS-3 Platform. En *27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops* (pp. 67-74). <https://doi.org/10.1109/WAINA.2013.20>

16. ROCO, M. y Bainbridge, W. (2003). *Converging Technologies for Improving Human Performance*. Kluwer Academic Publishers.
17. ROCO, M. C. (2003). Converging Science and Technology at the Nanoscale: Opportunities for Education and Training. *Nature Biotechnology*, 21(10), 1247-1249. <https://doi.org/10.1038/nbt1003-1247>
18. ROYAL SOCIETY (RS) y Royal Academy of Engineering (RAE) (2004). *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*. RS y RAE. https://royalsociety.org/~media/royal_society_content/policy/publications/2004/9693
19. SCHÜTZE, A., Helwig, N. y Schneider, T. (2018). Sensors 4.0 – Smart Sensors and Measurement Technology Enable Industry 4.0. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 7(1), 359-371. <https://doi.org/10.5194/jsss-7-359-2018>
20. SHEA, C. M., Grinde, R. y Elmslie, B. (2011). Nanotechnology as General-Purpose Technology: Empirical Evidence and Implications. *Technology Analysis & Strategic Management*, 23(2), 175-192. <https://doi.org/10.1080/09537325.2011.543336>
21. UNITED NATIONS Conference on Trade and Development (UNCTAD). (2021). *Catching Technological Waves: Innovation with Equity*. United Nations. https://unctad.org/system/files/official-document/tir2020_en.pdf



- *Nanopartículas de níquel* | Capturada por: Brookhaven National Laboratory. Tomada de: Dicyt.com



▪ *Depósitos de liberación de fármacos en pulmones de los ratones, 2015* | Capturada por: Gregory Szeto / MIT. Tomada de: theconversation.com