

Convergencias tecnológicas: selección y adopción*

Convergências tecnológicas:
seleção e adoção

Technological Convergences:
Selection and Adoption

Edgar E. González**

DOI: 10.30578/nomadas.n55a5

En este escrito el autor analiza y evalúa los factores que afectan la selección y la adopción de tecnologías emergentes, las cuales, por su naturaleza y sus campos de acción, se integran para configurar focos estratégicos de convergencia tecnológica. El artículo aborda el caso específico de las convergencias *nano-bio* e *info-cogno*, las cuales se analizan a partir de un estudio de vigilancia tecnológica. Los resultados obtenidos permiten proyectar un escenario de actuación para las convergencias tecnológicas en el cual se viabiliza un mapa de ruta para la consolidación de propuestas efectivas, a efectos de afrontar las problemáticas y atender las necesidades que se plantean desde las dimensiones económica, ecológica y social.

Palabras clave: convergencia, nanotecnología, biotecnología, información, IA, cuántica.

Neste texto o autor analisa e avalia os fatores que afetam a seleção e adoção de tecnologias emergentes, as quais, por sua natureza e seus campos de ação, integram-se para configurar focos estratégicos de convergência tecnológica. O artigo aborda o caso específico das convergências nano-bio e info-cogno, as quais se analisam a partir de um estudo de vigilância tecnológica. Os resultados obtidos permitem projetar um cenário de atuação para as convergências tecnológicas no qual se torna viável um roteiro para a consolidação de propostas efetivas, com o propósito de encarar as problemáticas e atender as necessidades planteadas desde as dimensões econômica, ecológica e social.

Palavras-chave: convergência, nanotecnologia, biotecnologia, informação, IA, quântica.

In this paper, the author analyzes and evaluates the factors affecting the selection and adoption of emerging technologies, which, by their nature and their fields of action, integrate each other to configure strategic focuses of technological convergence. The article addresses the specific case of nano-bio and info-cogno convergences, which are analyzed from a study of technological surveillance. The results help to envision a scenario through a viable roadmap for the consolidation of effective proposals, in which technological convergences could be facing the problems and meeting the needs that arise from the economic, ecological, and social dimensions.

Keywords: Convergence, Nanotechnology, Biotechnology, Information, AI, Quantum.

* El presente artículo se deriva de una investigación realizada sobre convergencia científico-tecnológica en el marco de la iniciativa "Red de Convergencia Bio-Nano" (Cbionano), coordinada y financiada por Colciencias durante el año 2016.

** Profesor asociado de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá (Colombia), donde dirige el grupo de investigación Gnano; miembro de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Doctor en Física.
Correo: egonzale@javeriana.edu.co

original recibido: 10/06/2021
aceptado: 11/10/2021

ISSN impreso: 0121-7550
ISSN electrónico: 2539-4762
nomadas.ucentral.edu.co
nomadas@ucentral.edu.co
Págs. 75~93

Desde la década de los años sesenta, el término *convergencia* se ha utilizado en una gran diversidad de contextos, aunque en algunos de ellos con una marcada deficiencia en definición y precisión de significado. Ha sido frecuente asociarlo con interacciones y superposición de tecnologías disruptivas que desde el siglo XX han marcado las diferentes etapas de evolución hacia la que actualmente se denomina una sociedad del conocimiento. El término *convergencia* fue introducido por primera vez por Rosenberg (1963) en una propuesta de análisis y explicación de la rapidez del cambio tecnológico, en un sector de la economía americana y su papel en la industria, específicamente de máquinas-herramientas. En dicha propuesta se llama la atención sobre el creciente volumen de producción manufacturera, acompañado por la *convergencia* tecnológica de grandes grupos de industrias y la creciente *desintegración* de industrias individuales. Esto se cristalizaría en la última década del siglo pasado con el creciente surgimiento de *convergencias* entre industrias que comparten aspectos comunes o complementarios entre productos y servicios.

La industria de la telefonía y la computación alcanza un significativo grado de *convergencia complementaria*, catalizada por la expansión exponencial de la red informática descentralizada de alcance global (internet). Esta red informática va a producir importantes dinámicas de integración de tecnologías que hasta su emergencia no tenían suficientes niveles de superposición y beneficios compartidos, tal como la industria electrónica.

En 1998 se publicó un estudio que dio respuesta al interrogante sobre las implicaciones de la *convergencia* tecnológica sobre la industria electrónica, denominada quinta esencia de *convergencia* tecnológica (Gambardella y Torrisi, 1998). En dicho estudio se considera

la *convergencia* tecnológica como “el proceso por el cual diferentes industrias llegan a compartir bases tecnológicas similares”, significado que ya había sido introducido por Rosenberg dos décadas atrás (Rosenberg, 1976). De la comparación entre las diversas tecnologías pertenecientes a las más importantes firmas electrónicas europeas y americanas, se concluye que la *diversificación* contribuye a mejorar el rendimiento y el desempeño, mientras que la reducción de capacidades tecnológicas lo afecta considerablemente.

Así, en el caso específico de la telefonía celular, que ha alcanzado una importante presencia en los mercados globales, se registra una evolución marcada por una creciente incorporación de diversas tecnologías y competencias desde la ingeniería (Granstrand y Oskarsson, 1994). Se incluyen, entre muchas otras, a las tecnologías de audio, video, fotografía y sensórica. Esta *diversificación* ha llevado estos productos tecnológicos a un nivel de desarrollo que podría considerarse representativo del paradigma de innovación y *convergencia* tecnológica entre electrónica, informática y telecomunicaciones (EIT) (Duysteyers y Hagedoorn, 1998; Escobar *et al.*, 2014).

En esta línea de exitosos resultados de *convergencia* tecnológica y su impacto en la innovación (Siegel *et al.*, 1999), a inicios del presente siglo se movilizó la propuesta de una *convergencia* entre nanotecnología, biotecnología, tecnologías de la información y tecnologías basadas en las ciencias cognitivas (NBIC) (Roco *et al.*, 2013; Roco y Montemagno, 2004). Esta iniciativa se fundamenta en las capacidades instrumentales y técnicas heredadas del siglo XX para manipular la materia a escalas fundamentales. A estas escalas, se hace posible establecer una zona transversal en la cual las cuatro tecnologías mencionadas comparten como esencia la comprensión y la manipulación de la materia a nivel

fundamental. Esta oferta de convergencia tecnológica crea un escenario propicio para que los procesos productivos y de economía individual y organizacional se incorporen a las dinámicas de selección y adopción correspondientes.

El término *selección* utilizado en este documento no se compromete en su significado con el que surge de las teorías evolucionistas de la economía (Dosi y Nelson, 1994; Silverberg *et al.*, 1988), en las que se establece una analogía entre el comportamiento de las organizaciones empresariales y los organismos biológicos. La selección se refiere al proceso en el cual, a partir de ciertas condiciones de necesidad económica, ecológica o social, se seleccionan aquellas tecnologías emergentes con potencial capacidad para atender dichas necesidades.

En este contexto, la gestión de las diferentes agendas globales y regionales orientadas a hacer frente a los problemas ambientales, energéticos, de salud pública y seguridad alimentaria, puede incorporar acciones de selección de tecnologías con capacidades para afrontarlos. Entre los principales factores que afectan estas dinámicas de selección, específicamente para tecnologías emergentes o convergencias tecnológicas, se destacan, entre otros: la expectativa, la percepción social, el riesgo, la normatividad, la regulación y la inversión para la implementación y la adopción. Estos aspectos proporcionan un conocimiento que generalmente aboga por la persuasión y, en consecuencia, por la toma de decisiones.

El término *adopción*, por su parte, hace referencia al proceso de incorporación e implementación de una tecnología emergente a las dinámicas económicas y sociales beneficiarias de dicha tecnología. Se espera que, en la fase de adopción, se produzcan resultados que mejoren la eficiencia, la productividad y el aporte de soluciones a las problemáticas de su competencia.

Cuando una nueva tecnología o convergencia tecnológica irrumpe en el entorno productivo, suele estar acompañada de una carga de expectativas y proyecciones sobre su valor y uso. La curva de Gartner (Pérez y Kreinovich, 2018) se utiliza frecuentemente para valorar la evolución en el tiempo y las predicciones sobre la adopción de tecnologías emergentes. Es una valiosa herramienta para la fase de selección y toma de decisiones. El ciclo de vida de una tecnología contextualizada

en la curva de Gartner se divide en las siguientes fases: lanzamiento, pico de expectativas sobredimensionadas, abismo de desilusión, rampa de consolidación y meseta de productividad, en la cual la adopción inicia su proceso de consolidación. Las dinámicas de selección y adopción pueden ser evaluadas con el uso de la información que proporciona la curva de Gartner, anualmente actualizada por la empresa de investigación y asesoramiento Gartner.

Para recoger información que permita soportar y realizar un estudio sobre el impacto, las tendencias y el comportamiento evolutivo de las tecnologías emergentes y convergencias, se hace uso de un estudio de *vigilancia tecnológica*¹, en el que se realiza una recolección sistemática de datos sobre patentes, artículos científicos, compañías y productos. Existe consenso en que la vigilancia tecnológica –complementada en algunos casos con la *inteligencia competitiva*–, se posiciona como una opción estratégica para la toma de decisiones en las dinámicas de selección y adopción de tecnologías, evaluación de impactos, responsabilidad social, reducción de riesgos y asistencia para la elaboración y el fortalecimiento de la calidad de las políticas de I+D+i. En términos metodológicos, en este trabajo se ha utilizado como herramienta para desarrollar la vigilancia tecnológica, bases de datos de publicaciones sobre productividad científica y patentes.

Se consultaron las siguientes bases de datos y sistemas de búsqueda: Orcid, PubMed, Microsoft Academic, Corssref, DOAJ, Open Citations, European Patent Office, GRID, PMC, WIPO, PQAI, CORE, PQAI, Patenscope, Google Patents, Espacenet, USPTO Web Patent Database, PQAI, Patentscope y Lens. Las ecuaciones de búsqueda, conformada por combinación de palabras clave y operadores de delimitación y de intersección lógica, suma lógica y resta lógica, se utilizaron en los sistemas de búsqueda para satisfacer las necesidades de información que orientan este estudio². Para la construcción de las ecuaciones y los criterios de búsqueda se siguió el procedimiento reportado por Codina (2017). La última consulta de las bases de datos a partir de los sistemas de búsqueda mencionados se llevó a cabo durante el mes de mayo del 2021.

A partir de un estudio de vigilancia tecnológica que abarca productividad científica y desarrollo tecnológico reflejado en patentamiento, en el presente trabajo se

analizan los focos de convergencia *nano-bio e info-cogno*. Estas dos convergencias se han seleccionado como casos de estudio, a fin de valorar su impacto económico, ecológico y social en un contexto de *selección y adopción*.

Foco de convergencia tecnológica nano-bio

El ingreso de las recientes tecnologías emergentes, enmarcadas en escalas que ofrecen capacidades de control de la materia a nivel fundamental y jalonadas por los desarrollos a nivel instrumental de las últimas décadas del siglo pasado, como también por el devenir natural de la búsqueda de nuevos materiales y procesos, ha configurado un escenario sobre el que la nanotecnología, base de desarrollo para la apertura de la “nueva era de los nanomateriales”, se consolida por consenso de escala. Los desarrollos provenientes de esta oferta nanoescalar, los cuales permiten establecer una variedad de tecnologías derivadas, han transitado, de acuerdo con el ciclo de Gartner, por un pico de expectativas que en algunos casos han descontextualizado o sobrevalorado la oferta de potenciales usos y aplicaciones, lo que ha conducido a la apertura de espacios de debate que valoran la existencia o no de un *nanohype* (Berube, 2005).

De otra parte, el tránsito por la fase de selección –que reduce el pico de expectativas–, mediada por requerimientos de tipo regulatorio, problemas de escalado, costo, avances en investigación de potenciales impactos en ambiente y seres vivos, cumplimiento con metas de desarrollo sostenible y un uso ético y responsable de estas tecnologías, se espera que evolucione hacia la construcción de un escenario de *adopción* estable y verdadero beneficio social.

La biotecnología es otra de las tecnologías que se han consolidado como estratégicas para desarrollar la agenda económica, ecológica y social del siglo XXI. Por su naturaleza y escala de intervención, ha resultado coyuntural en las propuestas de convergencia, específicamente en la denominada convergencia *nano-bio*, la cual no se ha evaluado lo suficiente en términos de expectativas y resultados.

La convergencia NBIC, ampliamente estudiada y valorada desde diferentes enfoques y perspectivas (Roco, 2020; Bainbridge y Roco, 2006; Echeverría,

2009; EOI, 2005), aún no ha alcanzado una fase de madurez suficiente para dar cumplimiento a los desafíos y las expectativas que se han consolidado en torno a estas iniciativas. En la década pasada, se esperaba que para el año 2020 se consolidara la convergencia NBIC con la “construcción de sistemas a nanoescala que requiere el uso combinado de leyes a nanoescala, principios biológicos, tecnología de la información e integración de sistemas” (Bainbridge y Roco, 2006). Aunque ya existen desarrollos tecnológicos que se derivan de esta convergencia, el estado del arte muestra que aún se está en un proceso de consolidación de la adopción integral de estas cuatro líneas del conocimiento.

Es pertinente puntualizar que en el caso de la convergencia tecnológica EIT, la integración de productos, conocimientos y servicios se realiza a partir de áreas consolidadas comercialmente y con un importante grado de desarrollo tecnológico, lo que favorece un rápido crecimiento en innovación y oferta de nuevos productos con un elevado grado de diversificación tecnológica. En el caso de la componente nanotecnológica en la iniciativa de convergencia NBIC, esta ingresa con un grado incipiente de desarrollo, acompañada más por expectativas de potenciales usos que por capacidades reales de aplicación y desarrollo.

Nano como línea estratégica de convergencia

La construcción de una visión de la nanotecnología de gran influencia global para la primera década del presente siglo fue gestada en el *workshop* organizado por el Grupo de Trabajo Interinstitucional del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología sobre Nanociencia, Ingeniería y Tecnología (Maryland, Estados Unidos, 1999) (Roco *et al.*, 2000). En dicha ocasión se reconoció la influencia interdisciplinar de la ciencia nanoescalar y sus aplicaciones, además, se proyectó un escenario basado en la comprensión de las propiedades de nanoestructuras aisladas que permitiera viabilizar su confección y manufactura con precisión atómica, así como hacer posible el escalado en volumen de producción a bajo costo.

Diez años más tarde, se publicó el reporte de retrospectivas y perspectivas para el 2020 de la nanotecnología (Roco *et al.*, 2011). En el citado trabajo,

al reporte generado del *wokshop* de 1999 se le llama *Nano1*, y al segundo reporte se le llama *Nano2*, en el cual se examinan los progresos de la primera década del siglo y se evalúan las capacidades y las oportunidades que ofrece la nanotecnología para la segunda década. *Nano1* se posiciona como una visión inspiradora y promotora de avances en fundamentos científicos e infraestructura física, tal como lo registra la tasa anual de crecimiento del 25% en el número de aportes en innovación, programas de investigación y desarrollo y mercados, con cifras globales del orden de los 254 mil millones de dólares (Roco *et al.*, 2011).

La visión en *Nano2* para el 2020 se enfoca en la transición de la investigación en laboratorio y los desarrollos sostenibles y responsables de uso para el consumidor, además de una aceleración de la ciencia y la innovación para el diseño y la manufactura de nanosistemas con impacto social. Se incluyen potenciales desarrollos en nanoelectrónica, memorias lógicas, nanofotónica, plasmónica, catalizadores, sensores, impresión a nivel molecular, instrumentación especializada, diseño y manufactura de nuevos materiales y productos para la salud.

Se puede hacer una evaluación del cumplimiento de las expectativas para la línea de convergencia *nanotech*, a partir de la vigilancia tecnológica, para el periodo 2000-2020, específicamente con referencia a patentes otorgadas, productos disponibles en el mercado y compañías, lo que puede proporcionar información valiosa para valorar los alcances y el impacto tecnológico y económico (Qu *et al.*, 2017). De acuerdo con los resultados obtenidos, se registra una tasa media de crecimiento de patentamiento global en nanotecnología para el periodo de 1900 patentes por año, con un número total de patentes otorgadas de 192.319. Estados Unidos es el país con mayor jurisdicción. Este incremento en innovación tecnológica puede asociarse con la generación de expectativas que produce una tecnología emergente basada en materiales, las cuales motivan inversión y desarrollo, tal como se previó en las visiones *Nano1* y *Nano2*.

De acuerdo con la CPC (*Cooperative Patent Classification*)³, y producto de la búsqueda de las secciones con mayor número de registros de patentes, se obtuvieron los resultados que se muestran en la figura 1a, en la cual la sección B, que califica la realización de operaciones y transporte, incluye la clasificación con código B82

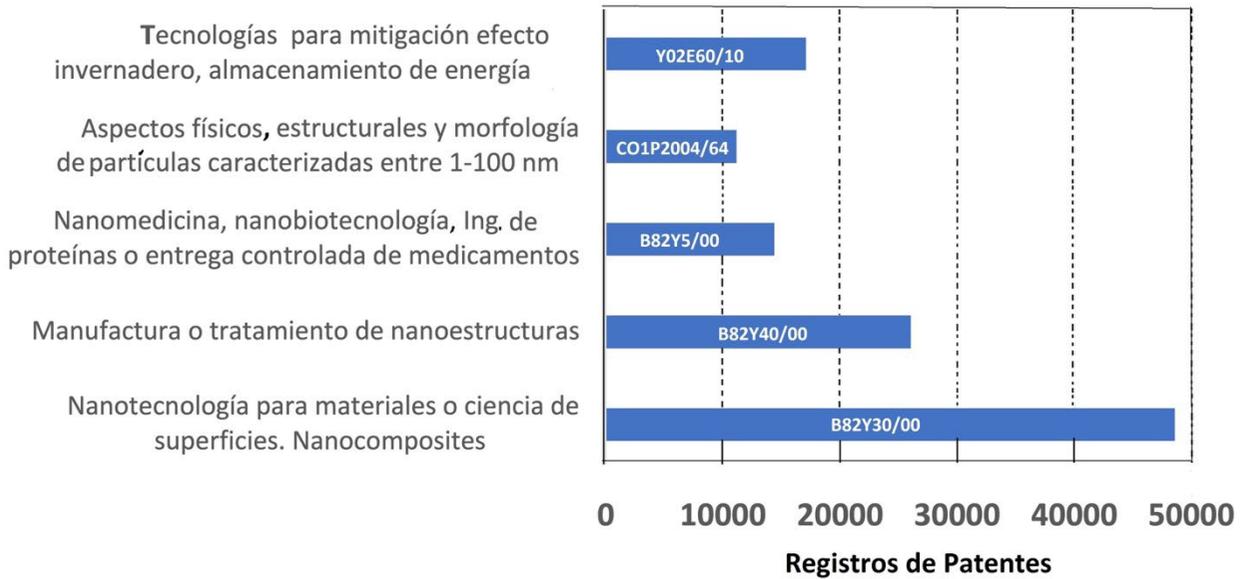
correspondiente a nanotecnología. El mayor número de registros aparece para el código B82Y30/00, el cual pertenece a nanotecnología para materiales o ciencia de superficies, por ejemplo, *nanocomposites*. Una clara correlación para esta línea de oferta tecnológica la constituyen la variedad y el número de recubrimientos para decoración, albañilería y estructuras que ya se ofrecen en el mercado, así como el número de compañías que los comercializan, tal como lo indica la figura 1b para el área de la construcción.

Se obtuvieron otras correlaciones entre oferta nanotecnológica patentada, compañías y productos para las áreas de la nanomedicina, tecnologías para mitigación del efecto invernadero (sección Y) y aspectos físicos y estructurales de nanopartículas (sección C). Cabe resaltar la importancia de esta última área como base tecnológica para fortalecer las acciones de regulación, normalización (ISO, 2017) y elaboración de definiciones consensuadas sobre nanomateriales (Camacho *et al.*, 2016), aspecto esencial para la cooperación y la formulación de políticas globales de gobernanza, manejo y gestión responsable de materiales nanoestructurados.

Entre las consideraciones que permiten establecer los criterios de *selección* y *adopción* de tecnologías emergentes, hay una serie de factores que van a determinar su aceptación o rechazo. Regulación, potenciales impactos en ambiente y seres vivos y costos de implementación y escalado, son algunos de los aspectos que influyen en la incorporación y la transición a una fase de estabilidad y *adopción* (Gupta *et al.*, 2012). De otra parte, las acciones de socialización e información a través de los medios de comunicación aportan una importante componente para la construcción de una percepción por parte de la sociedad que motive una actitud positiva o negativa basada en riesgos y beneficios. De esta percepción, además de las políticas de gobernanza y regulación, va a depender en gran medida la disponibilidad de fondos para investigación y desarrollo, así como una apertura de espacios de mercado y comercialización de productos y servicios (Scheufele y Lewenstein, 2005).

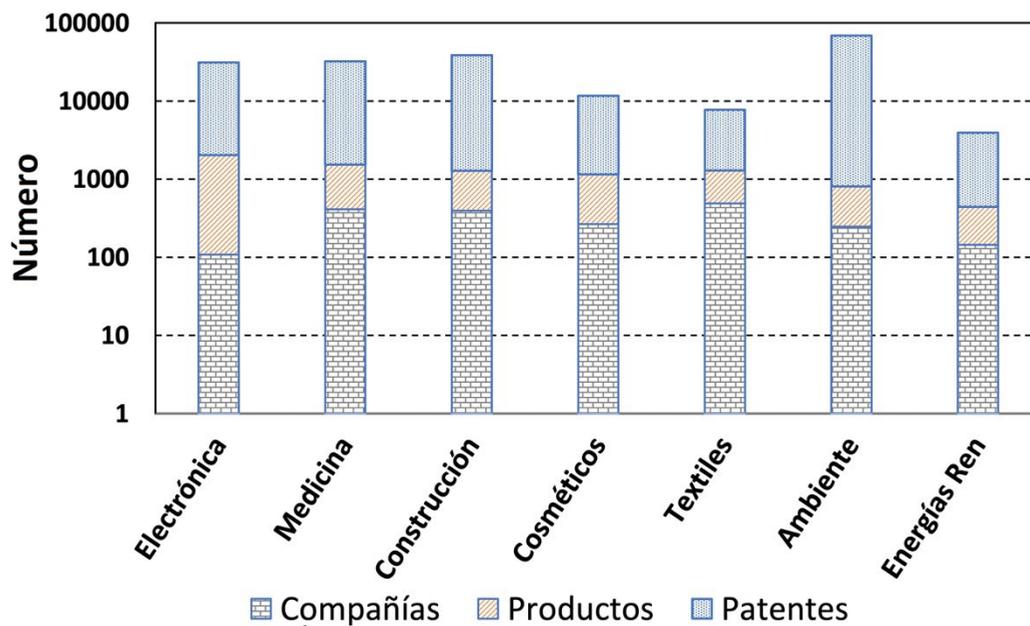
Si se atiende únicamente al aspecto de riesgo, una problemática que puede ser identificada en esta compleja dinámica social de percepción y actitud hacia las tecnologías emergentes, es la insuficiencia de información veraz y objetiva, basada en investiga-

Figura 1a) Distribución del número de registros de patentes clasificadas de acuerdo con la clasificación CPC



Dentro de las barras se indican los códigos de clasificación. Se presentan únicamente las de mayor número, correspondientes a las secciones B y C.

Figura 1b) Cuadro comparativo del número de compañías, productos y patentes para los sectores de la industria, la salud, el ambiente y la energía indicados



b)

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados se obtuvieron con la metodología de búsqueda mencionada anteriormente, con fecha de consulta 10 de abril del 2021.

ción teórica y verificación experimental de impacto en seres vivos y ambiente, así como una pedagogía, alfabetización científica adecuada y estrategias heurísticas para la socialización de estos resultados. Una pregunta que plantea esta problemática puede ser formulada como: ¿es la investigación en riesgo y potenciales efectos en seres vivos y en ambiente suficiente para concertar objetivamente los criterios de selección que permitan avanzar hacia una fase de adopción de las nanotecnologías?

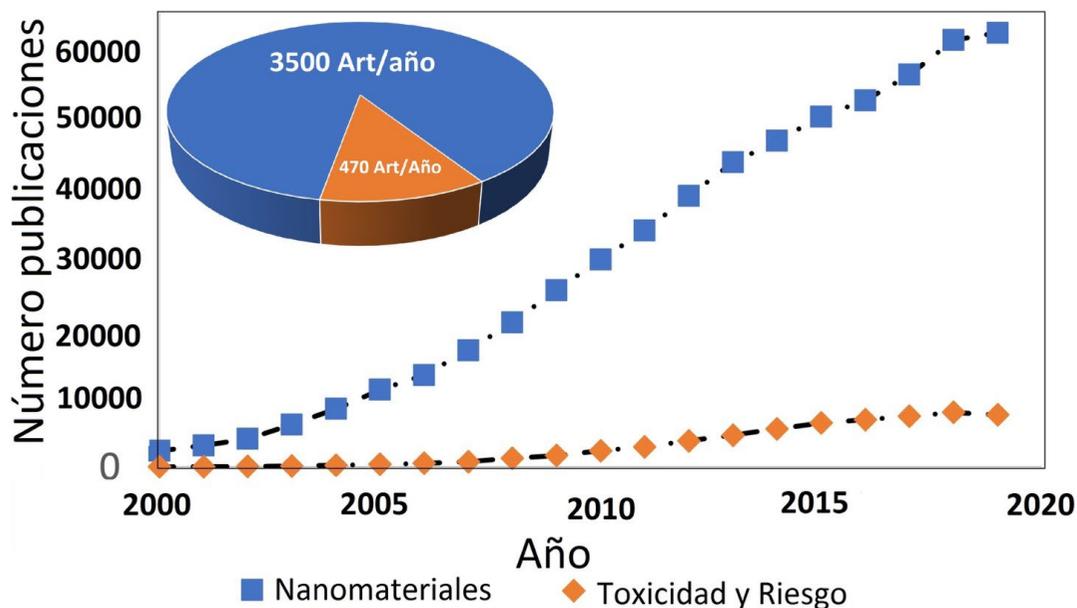
Una respuesta a este interrogante puede obtenerse a partir de la cuantificación de los resultados derivados de investigación en riesgo y toxicidad en la línea de tiempo para *Nano1* y *Nano2*. Esta cuantificación se puede correlacionar directamente con el número de publicaciones científicas en revistas de reconocido impacto. Resulta pertinente, además, contrastar estas cifras con la oferta en nanomateriales, los cuales representan la materia prima para la confección de productos y servicios (González, 2014). En la figura 2 se muestra el comportamiento en la ventana de tiempo 2000-2019 para el número de publicaciones científicas referidas a producción y caracterización de nanomateriales, así como en toxicidad y riesgo⁴.

Como se puede observar, la investigación en toxicidad y riesgo es incipiente respecto a la oferta de materiales nanoestructurados y procesos con potenciales usos. Mientras que la tasa media de crecimiento en productividad científica sobre toxicidad y riesgo alcanza los 470 artículos/año, en nanomateriales se registra una tasa media de crecimiento de 3.500 artículos/año. Estas cifras ratifican que los posibles causales de riesgo por el uso de nanomateriales pertenecientes a la creciente y amplia oferta gestada desde la investigación, no son aun suficientemente conocidas para proporcionar criterios de *selección* de la voluminosa oferta disponible y la posterior *adopción* segura de tecnologías basadas en estos nanomateriales.

En el recuadro interior superior se muestra un comparativo entre la tasa media de crecimiento para producción científica en nanomateriales y en toxicidad y riesgo.

Aunque se evidencia una insuficiente investigación en toxicidad y riesgo con respecto a la investigación basada en producción y caracterización de nanomateriales, de algunos avances ya obtenidos, los resultados pueden

Figura 2. Publicaciones científicas a nivel global en el área de producción y caracterización de nanomateriales, así como de toxicidad y riesgo en el intervalo de tiempo comprendido entre los años 2000 y 2019



Fuente: elaboración propia.

afectar la adopción o ajuste en el uso de los nanomateriales bajo estudio, los cuales han generado importantes picos de expectativa para atender la manufactura de productos y el soporte en procesos. Resulta ilustrativo mencionar el caso del dióxido de titanio, uno de los materiales paradigmáticos en diversas aplicaciones. Durante mucho tiempo, este material se ha considerado seguro e inerte y su adopción se ha sustentado en la falta de datos o información sobre efectos negativos en ambiente y seres vivos. El tránsito a la nanoescala, con la producción de nanopartículas para su uso en alimentos, fármacos, cosméticos, recubrimientos para la industria de la construcción, entre otros, ha abierto una importante oferta de opciones tecnológicas que forman parte de la agenda de la línea de convergencia nano.

El debate sobre la toxicidad y la seguridad para la salud humana del dióxido de titanio se ha alimentado de estudios toxicológicos que reportan potenciales efectos negativos para la salud humana. El Instituto Nacional para la Seguridad Ocupacional y la Salud y la Agencia para Investigación del Cáncer (entidad especializada de la Organización Mundial de la Salud), han clasificado a las nanopartículas de dióxido de titanio en el grupo carcinógeno 2B, el cual alerta sobre posibles efectos carcinógenos en seres humanos por inhalación de estas nanopartículas (International Agency for Research on Cancer (IARC), 2006). De otra parte, la Autoridad Europea para la Seguridad Alimentaria llevó a cabo una evaluación, bajo la solicitud de la Comisión Europea, acerca de la seguridad de los aditivos basados en dióxido de titanio para alimentos, y llegó a la conclusión de que el dióxido de titanio no se puede seguir considerando seguro como aditivo en alimentos (European Food Safety Authority (EFSA), 2021). Si se verifican los efectos negativos que se están investigando, el uso de nanopartículas de titanio en productos o procesos que permitan su movilidad al ambiente o la exposición en seres vivos tendría que ser regulado, con el consecuente levantamiento de una barrera para la adopción de algunas de las tecnologías basadas en nanotitanio.

Del incremento en las investigaciones y la publicación de resultados en toxicidad y riesgo, otros nanomateriales se están incorporando al debate en torno a la seguridad y el riesgo, aspecto que afecta considerablemente su *selección y adopción* para uso en productos y servicios. Así, con referencia a las nanopartículas de plata, que en la ventana de tiempo entre el 2000 y el 2019 registran

un número superior a los 51.864 artículos científicos publicados y más de 30.000 patentes, se ha configurado el denominado “boom de la nanoplata”. Este *boom* se ha mantenido gracias a las potenciales aplicaciones y utilidades que ofrecen estas entidades nanoescalares, entre las que se destacan el uso como agentes antimicrobiales, para terapia anticáncer, diseño de vacunas, sensores, productos industriales, entre muchas otras.

De los 10.835 estudios sobre toxicidad y riesgo reportados en la ventana de tiempo mencionada, aún no se tiene suficiente claridad sobre los procesos y las causales de la toxicidad identificada. Esto ha incrementado la preocupación por los potenciales efectos causados por estas nanopartículas una vez ingresan al medio ambiente (Zhang y Huang, 2011; Ferdous y Nemmar, 2020; Casals *et al.*, 2012; Missaoui *et al.*, 2021)⁵. Como consecuencia de estas inquietudes y atendiendo al principio de precaución para el uso de aditivos nanoestructurados en alimentos y productos de consumo, han aumentado las propuestas y las acciones relativas a reglamentación y regulación (Parvez y Budihal, 2020; European Parliament, 2015)⁶.

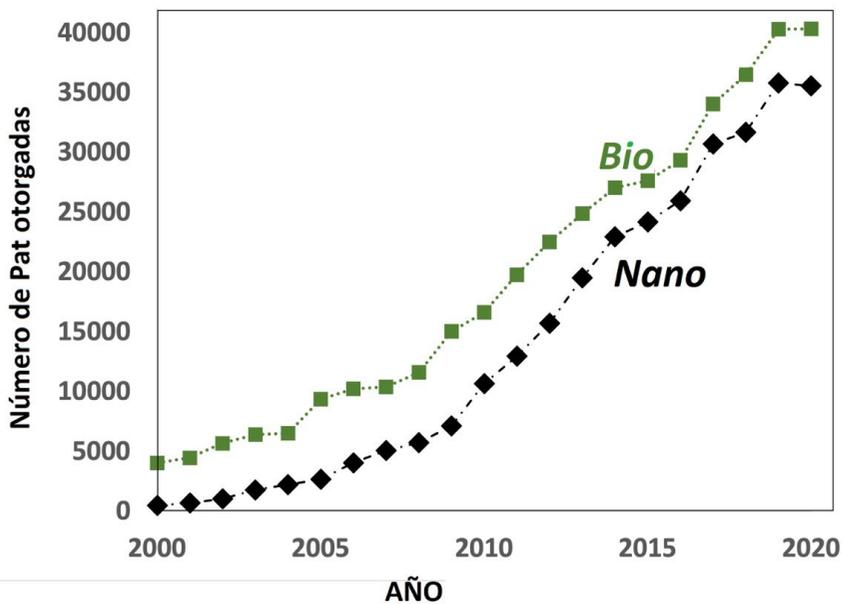
Es necesario enfatizar, en el contexto de una adopción tecnológica, la importancia de una actitud responsable y ética en la investigación y el desarrollo de productos y servicios, además de un tratamiento riguroso y responsable de la información y la socialización de los avances y los resultados producidos en investigación sobre toxicidad y riesgo. Sin suficiente evidencia e información basada en la especulación, se propicia una injustificada percepción social negativa que puede apartar a estas tecnologías de su concurso como oferta estratégica de oportunidades para el mejoramiento del bienestar social, la calidad ambiental y el desarrollo económico.

Lecciones desde la biotecnología y su impacto en la convergencia

Otra de las tecnologías disruptivas que forman parte de la convergencia NBIC es la biotecnología. Del estudio de vigilancia tecnológica realizado para la biotecnología durante el intervalo 2000-2020, se obtienen los resultados que se ilustran en la figura 3. Se destaca el importante incremento de oferta tecnológica soportada por una tasa media de crecimiento de 1936 patentes/año. De otra parte, en la CPC, la sección A de necesidades

humanas, específicamente medicamentos para fines específicos, se hace notoriamente incremental. En esta misma sección, para el código de agricultura A01, se lidera el patentamiento en el sector de semillas. El área de la salud conocida como “biotecnología roja” y en el agro la “biotecnología verde” son las que mayor impacto registran. Los estimativos para el periodo 2021-2028 proyectan para la biotecnología un 15,83% de tasa de crecimiento anual compuesto, siendo el año 2020 la base para esta estimación. Con respecto al mercado, se espera alcanzar una movilidad de recursos financieros del orden USD 2.44 trillones (Grand View Research, 2021).

Figura 3. Patentes otorgadas en biotecnología y nanotecnología para el periodo 2000-2020



Fuente: elaboración propia.

A pesar del sobresaliente impacto y la implementación de bienes y servicios, además del promisorio futuro que proyecta la biotecnología moderna, su desarrollo ha estado acompañado de un importante debate en torno a las implicaciones y las incertidumbres que se plantean frente a las capacidades adquiridas para modificación genética y control a nivel molecular de la materia biológica. La promocionada clonación realizada por Ian Wilmut en el año 1997 y los resultados negativos en animales bajo experimentación genética y problemas de pérdidas ocasionadas en agricultores por productos o modificaciones biotecnológicas, en algunos casos con resultados opuestos a los esperados (Vaden y Melcher, 1990), abonaron el camino hacia una percepción negativa en la sociedad y una ralentización en la *adopción* de la biotecnología en algunos sectores.

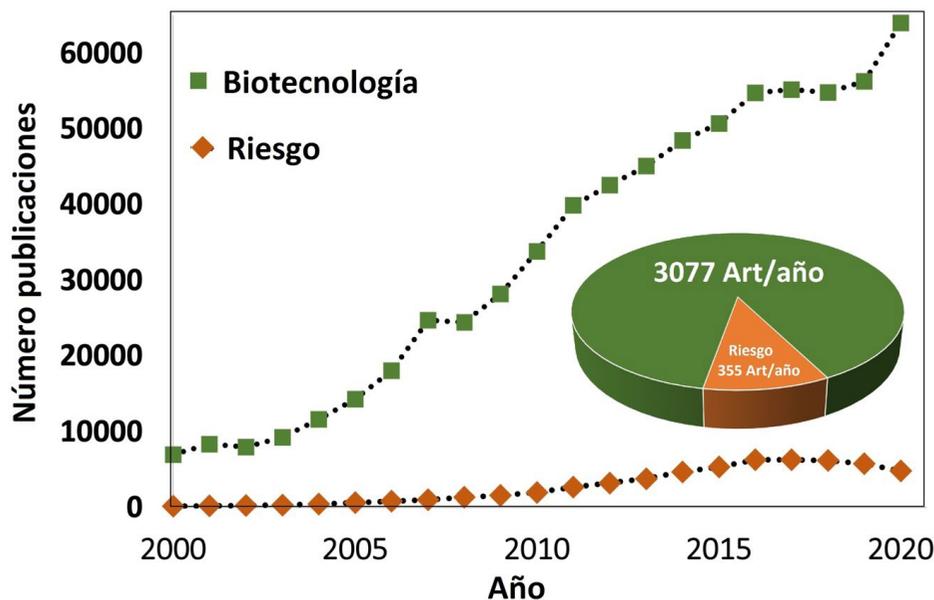
Como lo anota McHughen (2008), esta situación se ha caracterizado por la ausencia de una información precisa y transparente, problemas con la terminología, además de las dificultades y las habilidades de comunicación de la comunidad científica con la sociedad, aspectos que favorecen la tesis de un “déficit de conocimiento” (Toumey, 2006). Esta percepción ha motivado acciones orientadas a incrementar el rigor y el análisis sobre los riesgos ambientales, en seres vivos, socioeconómicos, de cobertura comercial y tecnológica derivados de la biotecnología, favoreciendo la apertura de un legítimo espacio de reflexión que motiva la implementación de buenas prácticas y el uso responsable de biomateriales y bioprocesos.

El número de investigaciones sobre riesgo, por ejemplo, en organismos modificados genéticamente para agricultura y alimentación (Spendler, 2005), aunque todavía insuficiente, se ha incrementado significativamente en la última década. Del estudio de vigilancia tecnológica realizado para el periodo 2000-2020, se puede apreciar una tasa media de crecimiento de productividad científica en biotecnología de 3.077 artículos por año, mientras que la productividad en riesgo alcanza una tasa media de crecimiento de 355 artículos por año, tal como se muestra en la figura 4. Estas cifras resultan similares a las obtenidas para el caso de los nanomateriales.

En el recuadro interior inferior (figura 4) se muestra un comparativo entre la tasa media de crecimiento para producción científica en biotecnología y riesgo respectivamente.

A pesar de la percepción negativa y la afectada aceptación de algunos segmentos de desarrollo, las biotecnologías farmacéuticas, la ingeniería de tejidos y regeneración, la fermentación, los biosensores, la tecnología PCR, entre otros, gozan de una generalizada acogida por

Figura 4. Publicaciones científicas a nivel global en el área de biotecnología, y productividad científica en riesgo para el intervalo de tiempo comprendido entre los años 2000 y 2019



Fuente: elaboración propia.

sus exitosos resultados y los beneficios claramente valorados. Esto posiciona a la biotecnología como una de las líneas estratégicas para configurar la agenda de desarrollo sostenible para los próximos años.

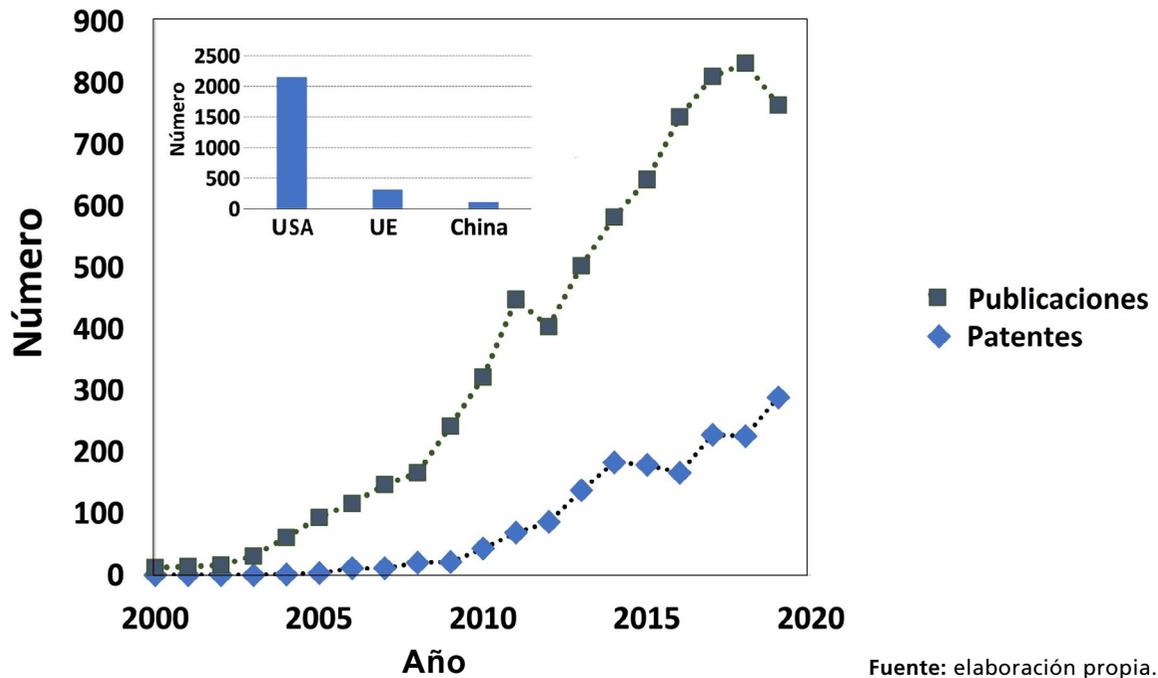
De los problemas que se han presentado con la biotecnología, se sugieren lecciones aprendidas para las dinámicas de *adopción* de la nanotecnología (Busch y Lloyd, 2008). Cobra relevancia la reflexión sobre lo que puede aprender la nanotecnología de la biotecnología, así como la necesidad de evaluar las analogías entre estas dos tecnologías en aspectos tales como dinámicas de evolución y caracterización de riesgos, comparaciones que se pueden hacer a partir de lo presentado en las secciones anteriores. Como puede verificarse, los comportamientos en oferta tecnológica en la ventana de tiempo considerada (figura 3), así como la investigación en riesgo (figuras 2 y 4) presentan notables similitudes.

La biotecnología aborda sistemas que pertenecen a una escala que comparte objetos de estudio propios de la nanotecnología. Así, en el caso de las máquinas y motores moleculares, resulta muy difícil identificar una clara pertenencia a la bio o la nanotecnología. De otra parte, la

integración eficaz de herramientas teóricas, experimentales y de desarrollo entre estas dos tecnologías favorece una “fusión” y “borrosidad” de fronteras que conduce en consecuencia a una convergencia tecnológica. Esta convergencia, que en este documento se denomina *foco de convergencia nano-bio*, y que ya aparece clasificada y denominada en los análisis de mercado, en textos, revistas y ofertas académicas de formación como *nanobiotecnología*, ha estimulado la colaboración académica e industrial (Montenegro *et al.*, 2016), así como el surgimiento de nuevos segmentos de mercado y servicios que proyectan importantes ingresos económicos para los próximos años. Además, la nano-bio se consolida como una de las puntas de lanza de mayor penetración y consolidación de plataformas maduras y una oferta robusta para hacer frente a los problemas y retos que forman parte de las agendas globales para el siglo XXI (González y Montenegro, 2016).

Una vigilancia tecnológica para la nanobiotecnología (figura 5) muestra una tasa anual de crecimiento de 150 patentes concedidas, con Estados Unidos como el país de mayor jurisdicción, seguido de la Unión Europea y China. En producción científica, la tasa media de crecimiento es de 15 artículos por año. Como es

Figura 5. Número de patentes y publicaciones en nanobiotecnología en el intervalo 2000-2020.



de esperarse, esta convergencia aún no muestra los mismos valores de crecimiento que acompañan a cada una de las líneas bio y nano individuales. Se trata de una oferta transversal que aún se encuentra en una fase de lanzamiento, de acuerdo con el ciclo de Gartner.

En el recuadro superior se muestra el número total de patentes por jurisdicción.

La convergencia nano-bio, que en algunas de las ofertas específicas aún se encuentra en un pico de expectativas, en otros casos particulares propone un avanzado estado de adopción. Es frecuente definir esta alianza estratégica convergente como una aplicación de la biología a la nanotecnología para la configuración y el diseño de biosensores, dispositivos biofotónicos, nanobiomateriales avanzados y máquinas moleculares, entre otros (Ramsden, 2016). En el área de los nanobiomateriales, que se alimenta de la convergencia nano-bio, además de su enorme potencial de aplicaciones, abren una ruta hacia una producción verde (Rasheed *et al.*, 2017) que fortalece el ideal de sostenibilidad para atender las problemáticas y las necesidades económicas, ecológicas y sociales previamente consideradas. De otra parte, áreas como la biología sintética, la biomimética y

la biología molecular se van a fortalecer considerablemente con la incorporación de esta convergencia.

Las necesidades impuestas por la pandemia causada por la covid-19 a la industria y a la investigación en materia de prevención y tratamiento han desempeñado un papel catalizador para el desarrollo de la biotecnología⁷ y, en consecuencia, para la convergencia nano-bio. Las industrias farmacéuticas y los laboratorios de investigación ingresaron en una carrera contra el tiempo para el desarrollo de vacunas, sistemas de detección y medicamentos que mejoraron o impulsaron nuevos métodos y protocolos en el diseño y el desarrollo de productos terapéuticos. La percepción en la sociedad sobre estas tecnologías experimentó un considerable cambio a raíz de esta novedad de salud pública, lo cual, por consiguiente, ha proyectado dinámicas de *adopción* más fluidas a corto y mediano plazo que afectarán positivamente a la convergencia nano-bio.

Foco de convergencia info-cogno

En un contexto de convergencia entre las tecnologías emergentes de la información y las basadas en

las ciencias cognitivas, específicamente las derivadas de la inteligencia artificial y la computación cuántica, se está cristalizando un escenario bautizado con el nombre de “convergencias inteligentes” (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), 2020; Schuld y Petruccione, 2018; Ying, 2010; Aoun y Tarifi, 2004). Esta convergencia aprovecha las capacidades de la inteligencia artificial –específicamente de *machine learning*– y la denominada “ventaja cuántica” que ofrecen las aplicaciones derivadas de la ciencia física de los dominios sub-nanoescalares, para incrementar las capacidades de procesamiento y manejo inteligente de datos. Esto abre una ruta para el tránsito a las tecnologías 6G, las cuales proyectan superar en dos órdenes de magnitud el volumen espectral y la eficiencia con respecto a las 5G. En consecuencia, se plantea la necesidad de proyectar escenarios construidos a partir de un estudio comparativo con la convergencia bio-nano, que permita analizar la fase de *adopción* y así valorar los picos de expectativas que ya se están configurando en torno a estas convergencias emergentes.

La segunda revolución cuántica y su impacto en las tecnologías de la información y la computación

A comienzos del siglo XX se gestó una de las transformaciones paradigmáticas más importantes de la ciencia física, la cual propuso un importante cambio en las concepciones sobre los componentes fundamentales de la materia, promoviendo la apertura a un extraordinario y fructífero camino por el que ha transitado la tecnología del pasado y del presente siglo. Este nuevo paradigma científico dio lugar a un nuevo paradigma tecnológico del que se derivaron importantes desarrollos tales como el láser, el diodo de efecto túnel y otros dispositivos, que marcaron la denominada *primera revolución cuántica*. A partir de esta herencia –tanto instrumental como teórica– recibida del siglo pasado, se está construyendo la denominada *segunda revolución cuántica* (González, 2020), que propone cinco áreas de desarrollo tecnológico: metrología cuántica, sensores cuánticos, criptografía cuántica, simulación y computación cuánticas. Con el lema “El futuro es cuántico”, una inversión de 1.000 millones de euros, 140 propuestas de investigación e innovación recibidas y 5.000 investigadores, la UE

lanzó a la iniciativa *Quantum Flagship*, la cual tiene como objetivo el fortalecimiento de las áreas que conforman la segunda revolución cuántica. De otra parte, los Estados Unidos y China están movilizan-do importantes recursos financieros y humanos para consolidar la supremacía cuántica⁸, especialmente en el área de las telecomunicaciones y la computación cuántica (CC).

En CC, de la vigilancia tecnológica realizada en este estudio, se identifica un crecimiento en investigación y desarrollo tecnológico que se refleja en la elevada tasa de productividad científica, con un valor medio de 1.100 artículos por año y una tasa media de patentes otorgadas de 650 por año (figura 6a). Esta base científica y tecnológica viabiliza la posibilidad de alcanzar una fase de comercialización de productos de cómputo basados en tecnología cuántica. Con la CC se espera simular y modelar sistemas de naturaleza cuántica para los que no es posible acceder con computación clásica, resolver problemas de alta complejidad que ofrecen un importante reto para la computación como el plegamiento de proteínas, el diseño de nuevos materiales, medicamentos, y la confección de protocolos que permitan mejorar y optimizar procesos.

Con los avances en prototipos de computadores cuánticos, la duplicación por año del volumen cuántico⁹, la disponibilidad de sistemas de cómputo cuántico (28 computadores cuánticos) y simuladores en la nube, IBM incursiona en tecnología de sistemas cuánticos, los cuales se espera que sean una realidad comercial a mediano plazo. De otra parte, Google ofrece el procesador cuántico Sycamore, programable y con capacidad de cómputo algorítmico. Microsoft ha avanzado hacia la consolidación de un ecosistema abierto en la nube, conocido como Azure Quantum, que ofrece acceso a soluciones, *hardware* y *software* de naturaleza cuántica. La compañía Intel ya ha evolucionado con el Tangle Lake hacia su tercera generación de procesadores cuánticos. En China se ha desarrollado el sistema Jiuzhang, el cual detenta la supremacía cuántica (Zhong *et al.*, 2020). Estos avances tecnológicos aseguran un escenario en el que ya se superan algunas de las expectativas generadas a comienzo de siglo y se fortalece la CC para hacer parte de las tecnologías inteligentes que pertenecen al foco de convergencia info-cogno.

Inteligencia artificial y computación cuántica como líneas estratégicas de convergencia

La inteligencia artificial está directamente involucrada en la algorítmica en sistemas para un rendimiento analítico integral con habilidades de aprendizaje, entendimiento de situaciones, análisis y solución de problemas y reconocimiento y comprensión del lenguaje natural. Específicamente para aprendizaje de máquinas, en una de las ramas de la inteligencia artificial se proponen técnicas para dar lugar a comportamientos y realización de tareas. A partir de datos se cuenta con la capacidad de análisis y aprendizaje de esos mismos datos.

La inteligencia artificial ha experimentado un crecimiento sobresaliente en la última década, tal como se indica en la figura 6a. De la vigilancia tecnológica realizada, se identifica en publicaciones científicas y patentes, una tasa media de crecimiento para la primera década de este siglo de 948 artículos por año y 670 patentes por año. Para la segunda década, la tasa media de crecimiento ha experimentado un importante incremento, con valores de 5.031 artículos por año y 4.755 patentes por año. Comparativamente, en productividad científica y patentamiento, la inteligencia artificial presenta mayores registros que la CC. De acuerdo con estos resultados, la inteligencia artificial (IA) tiene suficiente base científica y tecnológica para hacer viable una consolidación de tecnologías convergentes CC-IA una vez se alcance una fase de adopción.

La pandemia producida por la covid-19, al igual que para la biotecnología, ha sido un catalizador para I+D en materia de IA. Diferentes países han acudido a la IA para el monitoreo y la trazabilidad de modelos de predicción de dispersión del virus en tiempo real. Esto ha facilitado considerablemente la configuración eficiente y rápida de diagnósticos requeridos para implementar acciones de mitigación y recuperación. De otra parte, la IA ha desempeñado un importante papel, junto con la biotecnología y la bioinformática, en el diseño de medicamentos para tratamiento.

Si se determina la productividad científica y el patentamiento de la convergencia CC-IA, se obtienen los resultados que se muestran en la figura 6b. En patentamiento, se obtiene una oferta aún incipiente, al igual que artículos publicados, aunque se hace clara la tendencia de crecimiento para los próximos años.

De los trabajos científicos reportados, se hace posible proyectar escenarios promisorios para la convergencia de tecnologías inteligentes que da lugar a lo que podría denominarse *máquinas cuánticas de aprendizaje*, término acuñado en el trabajo reportado por Lloyd *et al.* (2013) sobre algoritmos cuánticos para aprendizaje supervisado y no supervisado. Desde el año 2013, el interés en este tópico se incrementa considerablemente, tal como aparece reflejado en las curvas de crecimiento de productividad científica para la convergencia CC-IA de la figura 6b.

De la alianza CC-IA se espera que la CC proporcione herramientas formales y de potencia de cómputo para el desarrollo de métodos de aprendizaje, mientras que por medio de las máquinas de aprendizaje se puede contribuir al análisis de datos de resultados experimentales de sistemas cuánticos (Schuld y Petruccione, 2018), así como algoritmos para la corrección de error (Abdelgaber y Nikolopoulos, 2020). Recientemente, IBM lanzó un nuevo módulo “Qiskit” como parte de kit de desarrollo de *software* cuántico, el cual ofrece a los programadores las ventajas y las capacidades de los computadores cuánticos para el mejoramiento de modelos de aprendizaje de máquinas. La IA requiere la CC para garantizar su *adopción* y posicionamiento como tecnología disruptiva, ya que puede acceder a problemas complejos, un procesamiento ágil y eficiente de *big data* e integración de múltiples conjuntos de datos, para los que la computación clásica se encuentra drásticamente limitada.

Convergencias nano-info, bio-info

En el trabajo que aquí se presenta se ha enfatizado en las convergencias nano-bio e info-cogno como casos específicos de estudio de opciones binarias que están ofreciendo nuevos espacios para la producción y la aplicación de conocimientos. Sin embargo, las convergencias nano-info, bio-info, o nano-bio-info desempeñan igualmente un importante papel en la construcción de escenarios para la selección y la adopción de tecnologías para los próximos años. Es bien sabido que las ciencias y las tecnologías de la información y la computación tienen un papel de base en la consolidación de convergencias. La nanotecnología se ha nutrido considerablemente de los avances y las

Figura 6a. Número de patentes y publicaciones científicas en computación cuántica e inteligencia artificial en el intervalo 2000-2020

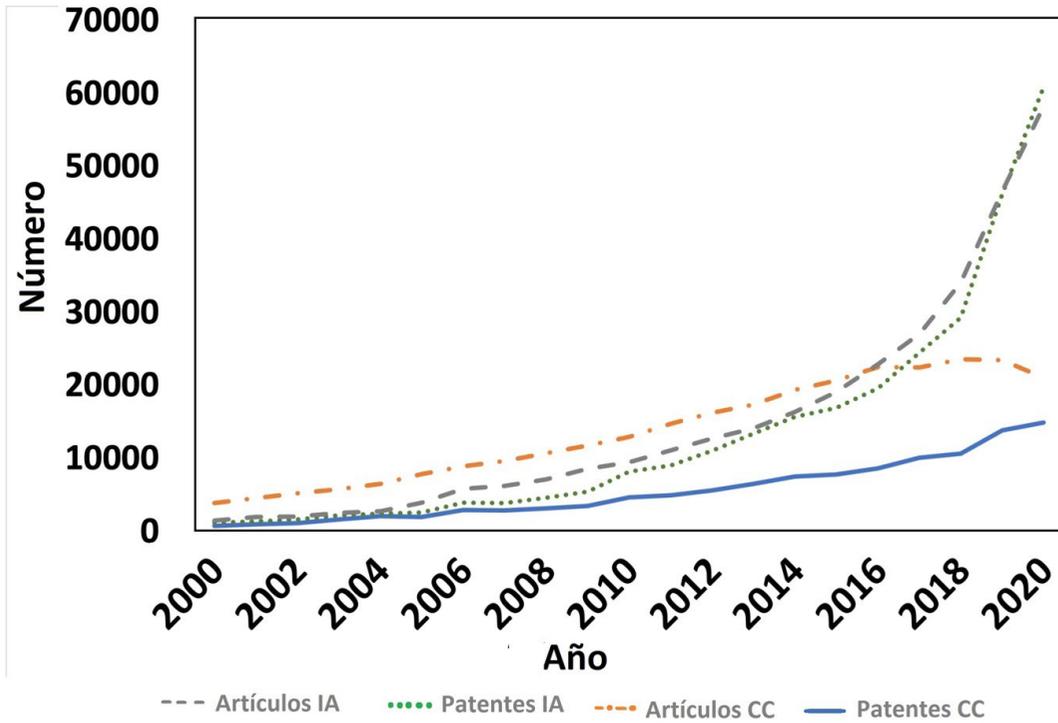
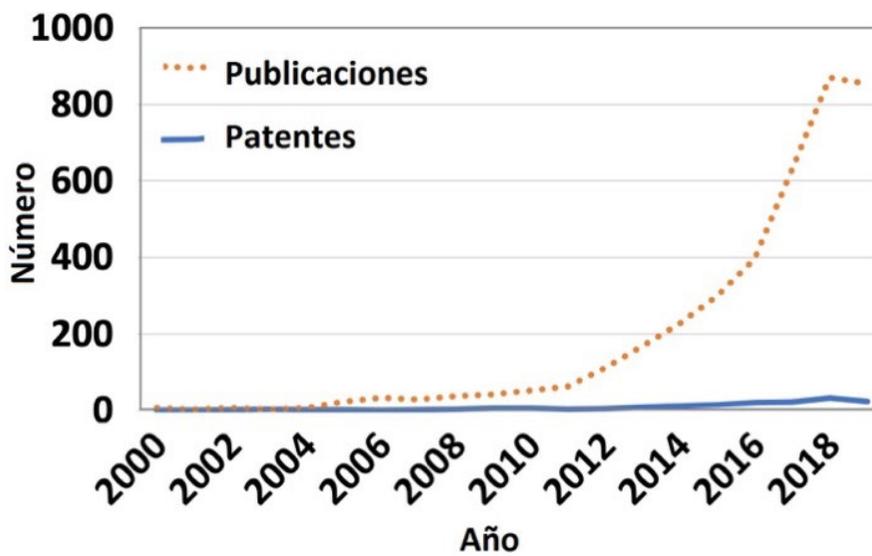


Figura 6b. Número de patentes y publicaciones para la convergencia tecnológica CC-IA.



Fuente: elaboración propia.

propuestas emergentes de la infotecnología. El modelamiento y la simulación de sistemas nanoscópicos permite la comprensión fenomenológica y posibilita las tareas de diseño y manufactura de productos nanoestructurados. De otra parte, desde el siglo pasado, la convergencia bio-info se ha manifestado abiertamente en áreas de desarrollo estratégico como la bioinformática y la biología computacional, estrategias para la secuenciación, la genómica, la biodiversidad, la genética y la estructura de proteínas (Serra, 2003).

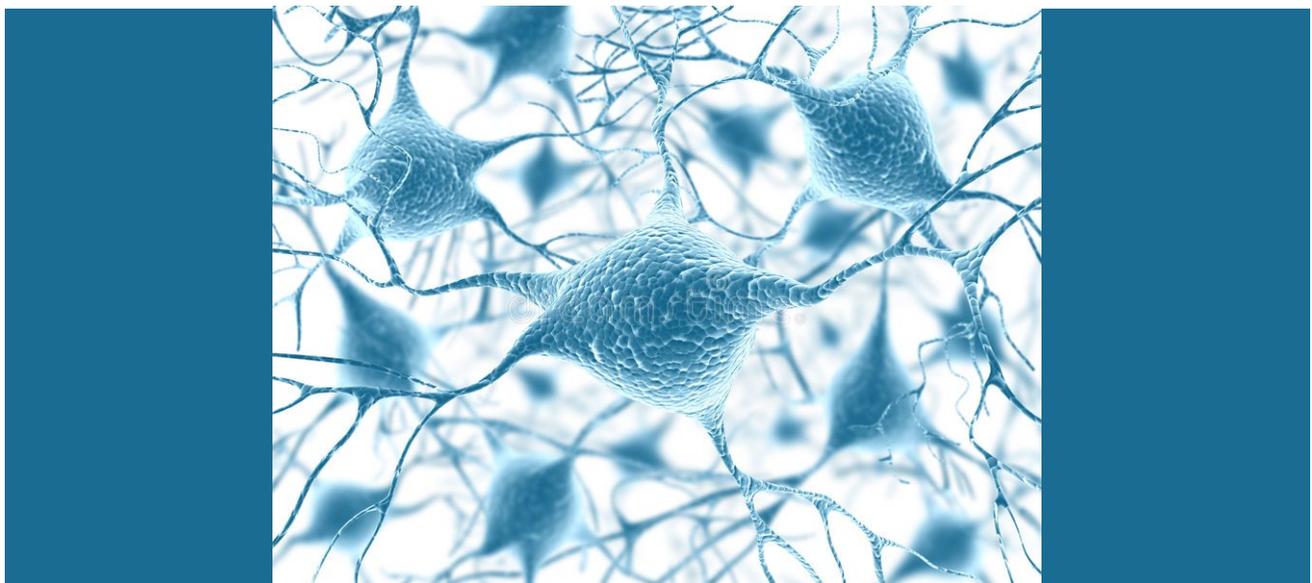
Conclusiones

En la compleja dinámica social de percepción y actitud hacia las tecnologías emergentes, aspecto esencial para favorecer o limitar la *selección y la adopción*, se ha identificado un “déficit de conocimiento” debido a la insuficiente información basada en investigación teórica y verificación experimental sobre impacto en seres vivos y ambiente, así como una pedagogía y una alfabetización científica adecuadas para la socialización de estos resultados. La elevada brecha observada entre la oferta tecnológica reflejada en registros de patentes y la investigación científica sobre impacto en ambiente y seres vivos, dificulta la valoración y la adopción o el rechazo objetivo de las tecnologías emergentes comprometidas con las estrategias de convergencia.

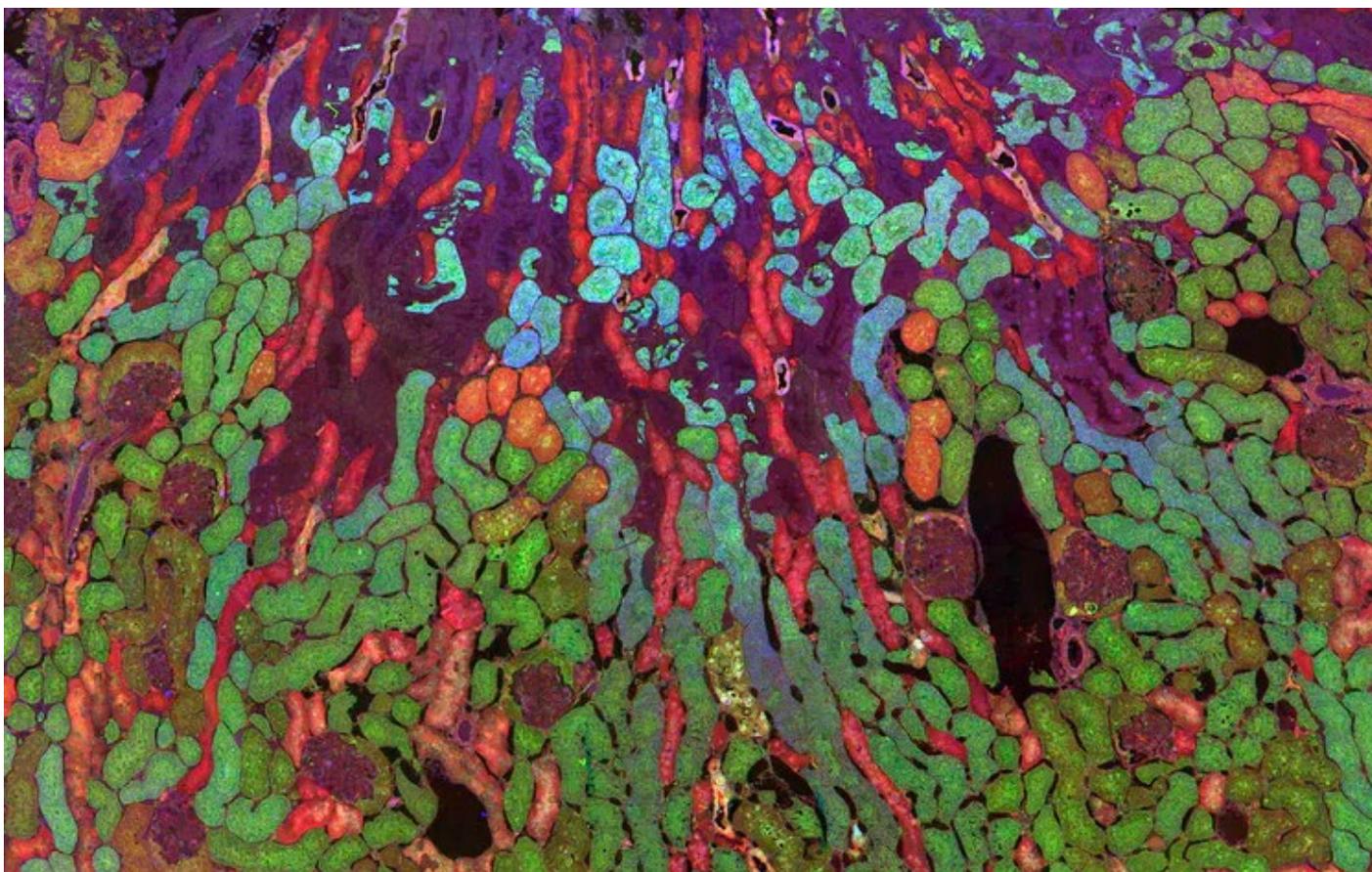
Se demuestra que los focos de convergencia nano-bio y CC-IA, seleccionados como casos de estudio, se consolidan como puntas de lanza para la consolidación de plataformas maduras y una oferta robusta para hacer frente a los problemas y retos que forman parte de las agendas globales para el siglo XXI.

El estado actual de oferta tecnológica revela que la convergencia tecnológica nano-bio se proyecta hacia una fase de consolidación de adopción por parte de sectores productivos, tal como se puede verificar con los datos obtenidos de la vigilancia *tecnológica* realizada y del ciclo de Gartner que se publica anualmente. Sin embargo, para los últimos años, las expectativas en el ciclo de Gartner se configuran en torno a tecnologías que forman parte de la convergencia info-cogno. Para el año 2021, se indica en la fase de lanzamiento las tecnologías emergentes basadas en *quantum machine learning*, consideradas el próximo *big thing*.

Se evidencia que las necesidades impuestas por la pandemia causada por la covid-19 a la industria y a la investigación en materia de prevención y tratamiento, han desempeñado un papel de catalizador para el desarrollo de la biotecnología y la inteligencia artificial, componentes de los focos de convergencia tratados en el presente documento.



▪ Neuronas, Ilustración 3D, 2008 | Autor: Ktsimage / Istockphoto.com



▪ *Distribución de metabolitos en un riñón, 2015* | Capturada por: Jefferson Brown. Tomada de: theconversation.com

Notas

1. En la normatividad española, la vigilancia tecnológica se encuentra definida en la familia de normas de la UNE 166000. En tal sentido, se propone como definición: “proceso organizado, selectivo y sistemático, para captar información del exterior y de la propia organización sobre ciencia y tecnología, seleccionarla, analizarla, difundirla y comunicarla, para convertirla en conocimiento con el fin de tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios” (UNE 166000, 2011).
2. Para el estudio de la vigilancia tecnológica se siguieron los pasos metodológicos que se describen a continuación: i) elección de las bases de datos y los sistemas de búsqueda relevantes para la consulta estructurada de la información; ii) elección de las palabras clave, identificadas en función de los propósitos de este trabajo, entre otros, analizar y evaluar los factores que afectan la selección y la adopción de tecnologías emergentes; iii) diseño de las ecuaciones de búsqueda a partir de las palabras clave, los operadores y los símbolos; iv) consulta sistemática de las bases de datos seleccionadas en el intervalo 2000-2020. Para publicaciones científicas (originales), la búsqueda fue filtrada para título, *abstract* y palabras clave. Las publicaciones clasificadas como “literatura gris” no se consi-

deraron, ya que se requiere, de acuerdo con lo que se propone en este estudio, contar con información que permita cuantificar específicamente desarrollo científico. Para patentes, se llevó a cabo una búsqueda selectiva para patentes registradas y en proceso de otorgamiento. Como información útil para contribuir al análisis de los resultados, según sea el caso, se incluye la productividad por país, la institución, el autor, las compañías y los productos. Los resultados se estructuran en indicadores y grafos; v) análisis de la información obtenida bajo los criterios de avance científico y tecnológico, así como de la apropiación y el uso del conocimiento en el sector tecnológico y productivo. Las palabras claves seleccionadas, de acuerdo con *abscost* y *thesaurus*, para la construcción de las correspondientes ecuaciones de búsqueda son, entre otras, las siguientes: *nanoscale, nanoparticles, nanocomposites, nanomaterials, nanostructures, nanotechnology, biotechnology, bionanotechnology, nanobiotechnology, nanoscience, nanotoxicity, risk, toxicity, nanosensors, nanodevices, quantum computing, quantum information and artificial intelligence*. Las ecuaciones de búsqueda se diseñaron para cada uno de los aspectos consultados: nanomateriales y riesgo, biotecnología y riesgo, patentamiento y productividad científica en

nanobiotecnología, patentamiento y productividad científica en computación cuántica e inteligencia artificial, entre otros. Para configurar algunas de las ecuaciones de búsqueda, por ejemplo, para nanomateriales y riesgo, se seleccionan las palabras clave que se reportan en la literatura científica y que hacen referencia a nanomateriales (término con un significado muy amplio): *nanomaterials, nanoparticles, nanocomposites, nanostructures, nanofibers, nanorods, nanowires, nanotubes, nanocages, fullerenes, nanoplates, quantum dots, Nanoclays, nanoemulsion*. En lo que se refiere a riesgo, con las palabras clave *risk, toxicity, ecotoxicity, carcinogenic* y *hazardous* se hace posible obtener suficiente información que requiere este estudio sobre riesgo y nanomateriales. Ecuación de búsqueda: TITLE-ABS-KEY((nanomaterials OR nanocomposites OR nanostructures OR nanofibers OR nanorods OR nanowires OR nanotubes OR nanocages OR fullerenes OR nanoplates, quantum dots OR nanoclays OR nanoemulsion) AND (risk OR toxicity OR ecotoxicity OR carcinogenic OR hazardous) AND (LIMIT-TO(DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO(DOCTYPE, "ip"))) AND (LIMIT-TO(PUBYEAR, 2020) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2017) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2016) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2015) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2014) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2013) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2012) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2011) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2010) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2009) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2008) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2007) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2005) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2004) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2003) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2002) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2001) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2000)). Para computación cuántica e inteligencia artificial: TITLE-ABS-KEY(((quantum AND computing) OR (quantum AND information)) AND ((artificial AND intelligence) OR (machine AND learning) OR (deep AND learning)) AND (LIMIT-TO(DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO(DOCTYPE, "ip"))) AND (LIMIT-TO(PUBYEAR, 2020) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2017) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2016) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2015) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2014) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2013) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2012) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2011) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2010) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2009) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2008) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2007) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2005) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2004) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2003) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2002) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2001) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2000)). Para nanobiotecnología: TITLE-ABS-KEY((nanobiotecnology OR bionanotechnology) AND (LIMIT-TO(DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO(DOCTYPE, "ip"))) AND (LIMIT-TO(PUBYEAR,

2020) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2017) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2016) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2015) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2014) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2013) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2012) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2011) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2010) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2009) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2008) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2007) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2007) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2005) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2004) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2003) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2002) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2001) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2000)).

3. EPO (European Patent Office) y USPTO (United States Patent and Trademark Office) han desarrollado una iniciativa de clasificación CPC (Cooperative Patent Classification) que busca armonizar los sistemas ECLA (European Classification) y el USPC (United States Patent Classification). A este nuevo sistema se permite migrar desde ECLA y EPO (<https://www.cooperative-patentclassification.org/>).
4. Se destacan en esta cuantificación sobre el total registrado de producción científica en nanomateriales los siguientes porcentajes: oro coloidal 15%, nanopartículas de plata 13%, grafeno 12% y nanotubos de carbono 9%.
5. Es creciente el número de investigaciones orientadas al diseño de sistemas y procesos para detectar y remover del ambiente nanopartículas de origen antrópico. Asimismo, se están igualmente incrementando los estudios y los reportes de cierto tipo de nanopartículas sintetizadas e incorporadas en productos y procesos como contaminantes emergentes (Stuart y Compton, 2015), lo que moviliza la agenda de mitigación, prevención y remediación.
6. Una regulación adecuadamente formulada contribuye de manera sustancial a mejorar la implementación y la adopción de nuevas tecnologías.
7. En materia de patentamiento, en el año 2020 se otorgaron 14 patentes relacionadas con biotecnología y covid-19 de las 106 aplicaciones. De la clasificación CPC, se destacaron los siguientes códigos: G01N33/569 para virus y microorganismos, A61P31/14, para RNA virus y CO7k14/005 para nuevas proteínas virales. En el mismo año, se publicaron 1.413 artículos específicamente sobre biotecnología y covid-19 y 4.627 sobre detección del virus que en un gran número se orientan desde la nano y la biotecnología.
8. El término "supremacía cuántica" se refiere a un sistema de cómputo cuántico que logra una mayor capacidad y una velocidad de cómputo superiores a las que ofrece la computación convencional. En el año 2019, Google presentó evidencias que le permitían anunciar la supremacía cuántica. Sin embargo, en el año 2020, China la anunciaba con el desarrollo del sistema JiaZhang.
9. El volumen cuántico determina la potencia de un computador cuántico. Es una medida de la complejidad de los circuitos cuánticos constituyentes del computador.

Referencias bibliográficas

1. ABDELGABER, N. y Nikolopoulos, C. (2020). Overview on Quantum Computing and its Applications in Artificial Intelligence. *IEEE Third International Conference on Artificial Intelligence and Knowledge Engineering (AIKE)* (pp. 198-199). Doi: 10.1109/AIKE48582.2020.00038
2. AOUN, B. y Tarifi, M. (2004). Quantum Artificial Intelligence. *Quantum Physics*. <https://arxiv.org/abs/quant-ph/0401124>
3. BAINBRIDGE, W. y Roco, M. (eds.). (2006). *Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations, Converging Technologies in Society*. Springer.
4. BERUBE, D. (2005) *Nano-Hype: The Truth Behind the Nanotechnology Buzz*. Prometheus.
5. BUSCH, L. y Lloyd, J. (2008). What Can Nanotechnology Learn from Biotechnology? En D. Kenneth y P. Thompson (eds.), *What Can Nanotechnology Learn from Biotechnology? Social and Ethical Lesson for Nanoscience from the Debate over Agrifood Biotechnology and GMOs* (pp. 261-276). Elsevier.
6. CAMACHO, A., Duarte, Á., Darwin, D., Forero, E., González, E., Jaramillo, F. et al. (2016). Definición de nanomateriales para Colombia. *Revista Colombiana de Química*, 45(1), 15-20.
7. CASALS, E., González, E. y Puentes, V. (2012). Inorganic Nanoparticles and the Environment: Balancing Benefits and Risks. En D. Barceló y M. Farré (eds.), *Comprehensive Analytical Chemistry* (265-290). Elsevier.
8. CODINA, L. (2017). *Ecuaciones de búsqueda: qué son y cómo se utilizan en bases de datos académicas*. <https://www.lluiscodina.com/ecuaciones-de-busqueda-bases-datos-operadores-booleanos/>
9. DOSI, G. y Nelson, R. (1994). An Introduction to Evolutionary Theories in Economics. *Journal of Evolutionary Economics*, 4, 153-172.
10. DUUSTEERS, G. y Hagedoorn, J. (1998). Technological Convergence in the IT Industry: The Role of Strategic Technology Alliances and Technological Competencies. *International Journal Economics of Business*, 5(3), 355-368.
11. ECHEVERRÍA, J. (2009). Interdiscipliniedad y convergencia tecnocientífica nano-bio-info-cogno. *Sociologías*, 22, 22-53.
12. ESCUELA DE Organización Industrial (EOI). (2005). *Convergencia NBIC 2005, el desafío de la convergencia de las nuevas tecnologías (nano-bio-info-cogno)*. EOI.
13. ESCOBAR, E., Dure, D., Lampert, A., Rivamar, A. y Torres, R. (2014). *Convergencia: electrónica, telecomunicaciones e informática*. Ministerio de Educación Nacional.
14. EUROPEAN FOOD Safety Authority (EFSA). (2021). Safety Assessment of Titanium Dioxide (E171) as a Food Additive. *EFSA Journal*, 19(5), 6585.
15. FERDOUS, Z. y Nemmar, A. (2020). Health Impact of Silver Nanoparticles: A Review of the Biodistribution and Toxicity Following Various Routes of Exposure. *International Journal Molecular Science*, 21(7), 2375.
16. GAMBARDELLA, A. y Torrisi, S. (1998). Does Technological Convergence Imply Convergence in Markets? Evidence from the Electronics Industry. *Research Policy*, 27, 445-463.
17. GONZÁLEZ, E. (2014). Nanomateriales: beneficios, riesgo y sostenibilidad. En *La influencia del internet, genética y nanotecnología en la medicina y el seguro* (pp. 283-305). Unisalle.
18. GONZÁLEZ, E. (2020). The Second Quantum Revolution. *Journal of Nano Science and Technology*, 5(1), 18.
19. GONZÁLEZ, E. y Montenegro, I. (2016). Bio-nanotechnology: Challenges and Opportunities. En E. González y E. Forero (eds.). *Bio-Nanotechnology for Sustainable Environmental Remediation and Energy Generation*. ACCEFN-nanoCiTec.
20. GRAND VIEW Research (2021). *Biotechnology Market Size, Share & Trends Analysis Report by Technology (DNA Sequencing, Nanobiotechnology), by Application (Health, Bioinformatics), by Region, and Segment Forecasts, 2021 – 2028*. Grand View Research.
21. GRANSTRAND, O. y Oskarsson, C. (1994). Technology Diversification in 'Multi-tech' Corporations. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 41, 355-364.
22. GUPTA, N., Fischer, A., van der Lans, I. y Frewer, L. (2012). Factors Influencing Societal Response of Nanotechnology: An Expert Stakeholder Analysis. *Journal Nanoparticles Research*, 14(5), 857.
23. INTERNATIONAL AGENCY for Research on Cancer (IARC) (2006). *Carbon Black, Titanium Dioxide, and Talc*. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. IARC.
24. INTERNATIONAL STANDARD Organization (ISO) (2017). ISO/TC 229 *Nanotechnologies*. <https://www.iso.org/committee/381983.html>
25. LLOYD, S., Mosheni, M. y Rebertrost, P. (2013). *Quantum Algorithms for Supervised and Unsupervised Machine Learning*. ArXiv:1307.0411.
26. MCHUGHEN, A. (2008). Learning from Mistakes: Missteps in Public Acceptance Issues with GMOs. En K.

- David y P. Thompson (Eds.), *What Can Nanotechnology Learn from Biotechnology? Social and Ethical Lesson for Nanoscience from the Debate over Agrifood Biotechnology and GMOs* (pp. 33-53). Elsevier.
27. MISSAOUI, W., Arnold, R. y Cummings, B. (2021). Safe Nanoparticles: Are We There Yet? *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 385.
 28. MONTENEGRO, I., González, E. y Botero, M. (2016). Opportunities for Joint Cooperation in R&D for FEALAC Countries: On Nanotechnology and Biotechnology. *STI Policy Review*, 7(2), 106-131.
 29. ORGANIZACIÓN PARA la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2020). *OECD Digital Economy Outlook 2020*. OECD Publishing.
 30. PARWEZ, K. y Budihal, S. (2020) Risk Management and Regulatory Aspects of Carbon Nanomaterials. En *Carbon Nanomaterials for Agri-Food and Environmental Applications* (pp. 595-613). Elsevier.
 31. PÉREZ, J. y Kreinovich, V. (2018). Gartner's Hype Cycle: A Simple Explanation. *International Journal of Computing and Optimization*, 5(1), 1-4.
 32. QU, Z., Zhang, S. y Zhang, C. (2017). Patent Research in the Field of Library and Information Science: Less Useful or Difficult to Explore? *Scientometrics*, 111(1). doi: 10.1007/s11192-017-2269-2
 33. RAMSDEN, J. (2016). *Nanotechnology an Introduction*. Elsevier.
 34. RASHEED, T., Bilal, M., Lqbal, H. y Li, C. (2017). Green Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Leaves extract of Artemisia Vulgaris and their Potential Biomedical Applications. *Colloids Surf B Biointerfaces*. doi: 10.1016/j.colsurfb.2017.07.020
 35. ROCO, M. (2020). Principles of Convergence in Nature and Society and their Application: from Nanoscale, Digits, and Logic Steps to Global Progress. *Journal Nanoparticles Research*, 22(321), 1-27.
 36. ROCO, M. y Montemagno, C. (eds.). (2004). *The Coevolution of Human Potential and Converging Technologies*. New York Academy of Sciences, Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 1013.
 37. ROCO, M., Mirkin, C. y Hersam, M. (2011). *Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020*. Springer.
 38. ROCO, M., Bainbridge, W., Tonn, B. y Whitesides, G. (eds.) (2013). *Convergence of Knowledge, Technology and Society*. Springer.
 39. ROCO, M., Williams, R. y Alivisatos, P. (eds.) (2000). *Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report, Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade*. Springer-Science+Business Media, B.V.
 40. ROSENBERG, N. (1963). Technological Change in the Machine Tool Industry 1840-1910. *The Journal of Economic History*, 23(4), 414-443.
 41. ROSENBERG, N. (1976). *Perspectives on Technology*. Cambridge University Press.
 42. SCHEUFELE, D. y Lewenstein, B. (2005). The Public and Nanotechnology: How Citizen Make Sense of Emerging Technologies. *Journal and Nanoparticles Research*, 7, 659-667.
 43. SCHULD, M. y Petruccione, F. (2018). *Supervised Learning with Quantum Computers*. Springer.
 44. SERRA, R. (2003). Bioinformática: la creciente interconexión entre biología y computación. *Boletín Electrónico de la Sociedad Española de Genética*, 17, 8-10.
 45. SIEGEL, R., Hu, E. y Roco, N. (eds.). (1999). *Nanostructure Science and Technology*. National Science and Technology Council (NSTC).
 46. SILVERBERG, G., Dosi, G. y Orsenigo, L. (1988). Innovation, Diversity and Diffusion: a Self-Organizing Model. *Economic Journal*, 98, 1032-1054.
 47. SPENDELER, L. (2005). Organismos modificados genéticamente: una nueva amenaza para la seguridad alimentaria. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 271-282.
 48. STUART, E. y Compton, R. (2015). Nanoparticles-Emerging Contaminants. En L. Moretto y K. Kalcher (eds.), *Environmental Analysis by Electrochemical Sensors and Biosensor. Nanostructure Science and Technology* (pp. 855-878). Springer.
 49. THE EUROPEAN Parliament and the Council of the European Union (2015). Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council on novel foods. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2015/2283/oj>
 50. TOUMEY, C. (2006). National Discourses on Democratizing Nanotechnology. *Quaderini*, 61, 81-101.
 51. UNE 166000 (2011). *Gestión de la I+D+i: terminología y definiciones de las actividades de I+D+I*. <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/une-166000>
 52. VADEN, V. y Melcher, U. (1990). Recombination Sites in Cauliflower Mosaic Virus DNAs: Implications for Mechanisms of Recombination. *Virology*, 177, 717-726.
 53. YING, M. (2010). Quantum Computation, Quantum Theory and AI. *Artificial Intelligence*, 174, 162-176.
 54. ZHANG, L. y Huang, Q. (2011). Environmental Fate, Transport, and Transformation of Carbon Nanoparticles. En *Biotechnology and Nanotechnology Risk Assessment: Minding and Managing the Potential Threats around Us*. American Chemical Society Symposium Series.
 55. ZHONG, H. S., Wang, H., Deng, Y. H., Chen, M. C. y Chao, L. (2020). Quantum Computational Advantage Using Photons. *Science*, 370(6523), 1460-1463.