

Capítulo 3

Inteligencia artificial y nanotecnologías en el contexto de la transformación digital y el desarrollo

Betiana Elizabeth Vargas

Resumen

El presente estudio examina el impacto de la convergencia entre las nanotecnologías y la inteligencia artificial (IA) en la transformación digital global, haciendo especial énfasis en sus implicaciones sociales y económicas. A través de una revisión bibliográfica exhaustiva, se analizan las aplicaciones emergentes de estas tecnologías disruptivas, sus efectos en la economía global y su relación con la economía política. El análisis detecta cómo, a pesar de ofrecer oportunidades de desarrollo, la integración de la IA y las nanotecnologías tiende a profundizar las desigualdades entre el Norte y el Sur Global. Los hallazgos sugieren que, si bien estas tecnologías pueden fomentar el desarrollo, también refuerzan estructuras de dependencia tecnológica y perpetúan diversas formas de colonialismo. Asimismo, se subraya la importancia de que el Estado impulse políticas públicas específicas, marcos regulatorios y sistemas de innovación adaptados a las condiciones locales para abordar los desafíos y problemas particulares de los países periféricos. En este contexto, se resalta el papel de las Universidades como puentes entre el Estado y las organizaciones sociales y la necesidad de una estrategia política centrada en la justicia social y ambiental que permita a las economías emergentes aprovechar las oportunidades sin quedar atrapadas en dinámicas de dependencia estructural.

Palabras clave:
Inteligencia Artificial (IA); nanotecnologías; transformación digital; desarrollo.

Vargas, B. E. (2026). Inteligencia artificial y nanotecnologías en el contexto de la transformación digital y el desarrollo. En J. Martínez Pérez, M. Hernández Ortiz, & I. Ortiz Medina, (Coords). *Desafíos contemporáneos. Un análisis multiescalar de la tecnología, la sociedad y el territorio*. (pp. 90-113). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.363.c785>



Introducción

La inteligencia artificial (IA) y las nanotecnologías se encuentran entre las tecnologías emergentes más promocionadas en la actualidad, pero, paradójicamente, son también algunas de las menos comprendidas. Aunque comúnmente se estudian de manera separada, existe una superposición natural entre ambas que impulsa su desarrollo conjunto. Estas tecnologías permiten, por un lado, la manipulación precisa de la materia a escala nanométrica y, por otro, el procesamiento avanzado de grandes volúmenes de datos, lo que da lugar a la creación de nuevas realidades tanto en los sectores industriales como en otros ámbitos sociales y políticos. Si bien su implementación promete aumentar la productividad y abrir nuevas oportunidades de desarrollo, también plantea retos significativos en términos de desigualdad y dependencia tecnológica, especialmente para las economías emergentes.

El presente estudio tiene como objetivo examinar y problematizar las implicaciones sociales y económicas de la convergencia entre la IA y las nanotecnologías en el contexto de transformación digital y el desarrollo global, desde una perspectiva de la economía política. El análisis se centra en las desigualdades emergentes, particularmente aquellas que afectan a los países del Sur Global, a raíz de intercambios desiguales y de nuevas formas de colonialismo. A través de una revisión detallada de estudios académicos, informes especializados y proyecciones de mercado, se busca comprender cómo estas tecnologías pueden afectar las desigualdades existentes y cómo la intervención del Estado, mediante políticas públicas y marcos regulatorios adecuados, puede ser fundamental para reducir la brecha tecnológica entre el Norte y el Sur.

En este contexto, se introduce al tema comenzando por una exploración de los conceptos fundamentales de nanotecnologías e IA. Posteriormente, se analiza la convergencia de ambas tecnologías, haciendo especial énfasis en los semiconductores y su impacto en

la geopolítica actual. A continuación, se repasan avances en los nanosensores y sus aplicaciones actuales. Finalmente, se plantea reflexión crítica sobre el desarrollo desde la perspectiva del Sur Global, abordando tanto los factores objetivos como subjetivos implicados en los intercambios desiguales, además de discutir los riesgos emergentes y sus implicaciones. El capítulo se cierra con una serie de conclusiones.

Metodología

La metodología se basa en una revisión bibliográfica exhaustiva que permite contextualizar y analizar las implicaciones sociales y económicas de la relación entre nanotecnologías e IA frente a la transformación digital y el desarrollo. A través de la recopilación y el análisis de fuentes académicas y documentos especializados, se identificaron aplicaciones y avances clave en el campo de las tecnologías emergentes, su impacto económico y su relación con la economía política. Esta revisión incluye estudios de caso y proyecciones futuras, como valorizaciones de mercado, que permiten evaluar las implicaciones tanto para economías desarrolladas como para países menos avanzados dentro del marco del avance científico global.

A partir de este análisis, se busca examinar cómo las tecnologías emergentes afectan las desigualdades preexistentes y amplían las brechas entre el Norte y el Sur Global. Además, se realiza una reflexión crítica sobre las dinámicas de poder en el contexto de la Industria 4.0, con especial atención a la dependencia tecnológica, el colonialismo digital y los riesgos sociales y ambientales emergentes relacionados con la implementación de estas tecnologías. La hipótesis central del trabajo plantea que, aunque las nanotecnologías y la IA pueden generar oportunidades de desarrollo, su integración tiende a reforzar estructuras de desigualdad, particularmente en territorios periféricos. Los hallazgos subrayan la necesidad de la intervención

del Estado para fortalecer las políticas educativas y de formación especializadas, así como para diseñar políticas de innovación y marcos regulatorios adaptados a las condiciones locales, que no sólo respondan a las tendencias mundiales, sino que también aborden de manera efectiva los problemas y prioridades locales.

¿Qué son las nanotecnologías y la IA?

Cuando se mencionan las nanotecnologías y nanociencia, se hace referencia a la habilidad de manipular y controlar la materia a escala atómica y molecular. Tal como sostiene Villa Vázquez (2022), hoy en día ningún sector económico es ajeno a incorporar la nanotecnología en sus procesos productivos. En tal sentido, el desarrollo de este tipo de tecnologías necesitó del avance en las técnicas de microscopía. Según Emergen Research (2023), tanto el microscopio de efecto túnel de barrido (STM) como el microscopio de fuerza atómica (AFM) fueron los que dieron inicio a esta una nueva era nano.

La nanotecnología implica la manipulación de la materia a escala nano. De acuerdo con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de Estados Unidos (National Science and Technology Council o NSTC, por sus siglas en inglés), la nanotecnología permite aprovechar las capacidades físicas de la materia: “Nanotechnology, which involves the manipulation of matter at the ‘nano’ scale, is a necessary enabling technology that takes advantage of the different quantum physical capabilities of matter by creating new structures with new molecular features” (National Science and Technology Council [NSTC], 2009, citado en Zayago Lau, 2024, p. 127).

Por lo tanto, la nanotecnología se define como el estudio, la comprensión y el control de la materia a escala nanométrica, con dimensiones que varían entre aproximadamente 1 y 100 nanómetros. Tal como señala DayOne (2021), es importante aclarar que un nanómetro equivale a una milmillonésima parte de un metro (0,000000001 m), lo que corresponde al ancho de entre

tres y cinco átomos. Para ponerlo en perspectiva, un nanómetro es aproximadamente 100.000 veces más pequeño que el grosor de un cabello humano, que generalmente mide entre 80.000 y 100.000 nanómetros. Esta comparación permite tomar dimensión la pequeña escala en la que opera la nanotecnología.

Las estructuras a escala nanométrica posibilitan la realización de procesos que otras tecnologías no pueden llevar a cabo. Esto incluye la creación de materiales con características superiores, con mayor resistencia, reducción de peso, control avanzado sobre el espectro de luz y una reactividad química ampliada en comparación con sus equivalentes a mayor escala. De acuerdo con un informe de Emergen Research (2023), se proyecta que el mercado global de la nanotecnología alcance un valor de 290,93 mil millones de dólares para el año 2028.

En relación con la Inteligencia Artificial (IA), McCarthy (2007), la define como una disciplina dedicada al estudio y desarrollo de sistemas diseñados para realizar tareas especializadas, tales como programas informáticos avanzados. Según Porcelli (2020), el término IA fue introducido en 1956 por un grupo de científicos, entre los que se encontraban McCarthy, Minsky, Rochester y Shannon, quienes dieron inicio al proyecto de investigación denominado “Inteligencia Artificial” en Dartmouth College (Estados Unidos). El propósito de este proyecto era describir de manera tan precisa la inteligencia humana que se pudiera replicar en una máquina. Esta concepción se conoció como Inteligencia Artificial Genérica, refiriéndose a una IA capaz de igualar o incluso superar la capacidad cognitiva humana promedio.

De acuerdo con IBM (2023), existen tres tipos de IA, según capacidades y alcance:

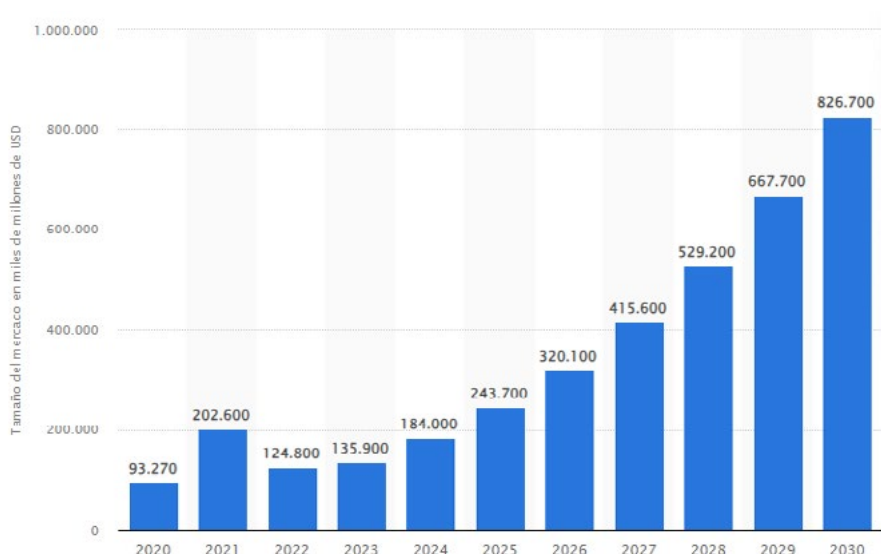
1. IA Artificial Estrecha, este es el único tipo de IA que existe actualmente. Puede programarse para realizar una sola tarea, con mayor rapidez y eficiencia que la mente humana. Sin

embargo, solo puede actuar dentro de la tarea definida. Los asistentes inteligentes como Alexa, Siri y Watson, o ChatGPT de OpenAI, son algunos ejemplos de esta IA limitada.

2. IA General (AGI), o IA fuerte, continúa siendo un concepto teórico. Su objetivo es desarrollar máquinas que puedan adquirir conocimientos y habilidades a través de experiencias previas, para resolver nuevos retos en diversos entornos sin necesidad de intervención humana.
3. Superinteligencia artificial, o super IA, este concepto sigue siendo estrictamente teórico. En caso de lograrse, la Super AI tendría capacidades cognitivas superiores a las de los seres humanos, como pensar, razonar, aprender y emitir juicios.

La IA se perfila como una de las áreas tecnológicas con mayor proyección económica a corto y mediano plazo. Según Statista (2024), se espera que el valor de mercado de la IA supere los 300.000 millones de dólares en 2026, alcanzando más de 800.000 millones de dólares en 2030. En 2021, se observó un pico de inversión de 202.600 millones de dólares, justo antes del lanzamiento de ChatGPT a fines de 2022, lo que desató un “nuevo boom” en la IA (véase figura 1).

Figura 1. Tamaño del mercado de la inteligencia artificial a nivel mundial de 2020 a 2030 (en miles de millones de dólares)



Fuente: Statista (2024).

Tanto la IA como las nanotecnologías son consideradas tecnologías disruptivas de la Cuarta Revolución Industrial (Schwab, 2017) o Industria 4.0 (Basir et al., 2019; Foladori & Ortiz-Espinoza, 2022). Ambas tecnologías destacan por su capacidad para transformar rápidamente numerosos sectores, desde la industria hasta la educación, contribuyendo a la reconfiguración del capital global y dando paso a una “nueva fase digital” (Aguilera, 2023).

Convergencia entre IA y nanotecnologías

Aunque la integración esperada entre IA y nanotecnologías todavía está en marcha, la idea de que ambas tecnologías converjan y que la investigación multidisciplinaria crezca ha estado en marcha durante más de una década. Si se logra establecer un puente entre la IA actual, las nanociencias y las nanotecnologías, esto podría impulsar la investigación en estos campos y ofrecer a las nuevas generaciones

tecnologías con un impacto profundo en diversos sectores, ya sea productivos, sociales, políticos, biológicos y de desarrollo.

Varios esfuerzos de investigación en nanociencia tanto básica como aplicada, junto con el uso de herramientas de IA, facilitan la interpretación de técnicas experimentales y la colaboración en el diseño de dispositivos y nanomateriales. Los avances en nanoinformática, nanodispositivos y nanomateriales proporcionan plataformas eficientes que facilitan la implementación de métodos de aprendizaje automático e IA potenciando las capacidades computacionales.

En el mundo digital, los materiales semiconductores desempeñan un papel crucial, ya que son la base para el funcionamiento de dispositivos como computadoras, smartphones, paneles solares y muchos otros dispositivos electrónicos. La capacidad de los semiconductores para adaptarse a diferentes aplicaciones ha transformado múltiples campos de la tecnología. Además, su capacidad para miniaturizar continuamente las estructuras subraya la relevancia de la convergencia entre la IA y la nanotecnología.

En términos generales, los semiconductores son materiales cuya conductividad eléctrica se encuentra en un punto intermedio, entre la de un conductor (como el cobre) y un aislante (como el vidrio). Algunos de los semiconductores más comunes incluyen el silicio (Si), el germanio (Ge) y compuestos tales como el GaAs o el GaN. Según Sánchez Martínez & Cruz Hernández (s.f.), las nanoestructuras están transformando la industria de los semiconductores. Un ejemplo claro de esta revolución es su aplicación en LEDs (diodos emisores de luz) y láseres. Las nanoestructuras permiten que los LEDs ofrezcan una luz más brillante y eficiente. En el caso de los láseres, mejoran el control y la precisión de la emisión de luz, lo que los convierte en herramientas fundamentales en sectores como la medicina, las comunicaciones y la manufactura, donde la precisión en la emisión de luz es esencial.

En el ámbito de la IA, se utilizan circuitos integrados especializados para optimizar las tareas de aprendizaje automático, las cuales dependen de semiconductores y nanoestructuras semiconductoras. Estos circuitos son vitales para el funcionamiento eléctrico de diversas tecnologías, como los vehículos autónomos. De acuerdo con Sánchez Martínez & Cruz Hernández (s.f.), la escasez de semiconductores tuvo un impacto tan significativo en la industria automotriz en México que, en junio de 2021, casi 34.000 vehículos no pudieron ser ensamblados. Para julio del mismo año, la cifra de autos sin ensamblar aumentó a 81.671, según reportes de la Industria Nacional de Autopartes (INA). La geopolítica de los semiconductores alcanzó su punto crítico tras la Pandemia por COVID-19 y el avance acelerado de la digitalización global.

Según Basir et al. (2019), hay tres fases en la conectividad. La primera es la físico-química inmediata, la segunda es la fase de redes, y la tercera la de aplicaciones inteligentes. Este desarrollo ha sido posible gracias a la consolidación de la Industria 4.0, que aboga por la completa automatización de procesos y una mayor flexibilidad y anticipación en relación con los comportamientos de consumidores y productores (Eslava, 2021, en Foladori & Ortiz-Espinoza, 2022). Una de las características fundamentales de la Industria 4.0 es la integración de tecnologías y la creciente dependencia entre ellas, una tendencia que sigue avanzando sin señales de desaceleración. A medida que las revoluciones tecnológicas progresan, las tecnologías se vuelven más multipropósito y capaces de facilitar muchas otras innovaciones (Bresnahan & Trajtenberg, 1995; Shea et al., 2011). Por eso, tanto la IA como las nanotecnologías son consideradas Tecnologías de Propósito General (TPG).

Con el crecimiento de la demanda de aplicaciones de IA, también surge la necesidad de disponer de hardware especializado que apoye estas tecnologías. Según la Semiconductor Industry Association (SIA), citada por Bravo (2024), el valor de mercado global de chips se aproximó a los 524 mil millones de dólares en 2023. Sin embargo,

Allien Market Research proyecta que, para 2031, el mercado de los chips se reducirá a 263 mil millones de dólares, es decir, la mitad de lo calculado para 2023 (Almario, 2023). El sector de semiconductores está dominado por TSMC, compañía taiwanesa asociada con Nvidia, que controla cerca del 80% del sector. No obstante, como señala Bravo (2024), Estados Unidos posee alrededor del 50% del mercado global de semiconductores. Según Almario (2023), los chips de IA están desempeñando un papel esencial en la mejora de la capacidad de procesamiento y el rendimiento de los sistemas de IA. Los principales países fabricantes de chips para la IA incluyen a Estados Unidos, China, Corea del Sur e Israel (véase figura 2).

Figura 2. Mercado global de chips



Fuente: Almario (2023).

Como se observa en la Figura 2, empresas líderes como Nvidia, Intel y AMD están destinando recursos significativos al desarrollo de chips que mejoren el rendimiento de los sistemas de IA. Según Almario (2023), China ha emergido como un competidor relevante en este sector con gigantes como Huawei, Tencent y Baidu realizando inversiones destacadas. La combinación de apoyo estatal y talento local ha sido fundamental para el progreso en la fabricación de chips de IA en el país. Asimismo, empresas como Samsung y SK Hynix de Corea del Sur, junto con Mobileye de Israel, están demostrando un gran potencial tanto en el desarrollo como en la producción de tecnologías avanzadas en este campo.

El lugar de los nanosensores

La convergencia de la nanotecnología y la IA ha dado lugar a la miniaturización de los dispositivos electromecánicos, un proceso que se materializó en el contexto de la Industria 4.0 (Zayago Lau, 2024). En la segunda década de este siglo, las propiedades dinámicas de la nanotecnología han permitido que los sensores alcancen tamaños inferiores a los 10 nanómetros, lo que ha posibilitado su aplicación en todos los sectores económicos. Los MEMS (sistemas microelectromecánicos) están evolucionando hacia NEMS (sistemas nanoelectromecánicos) (Foladori & Ortiz-Espinoza, 2022).

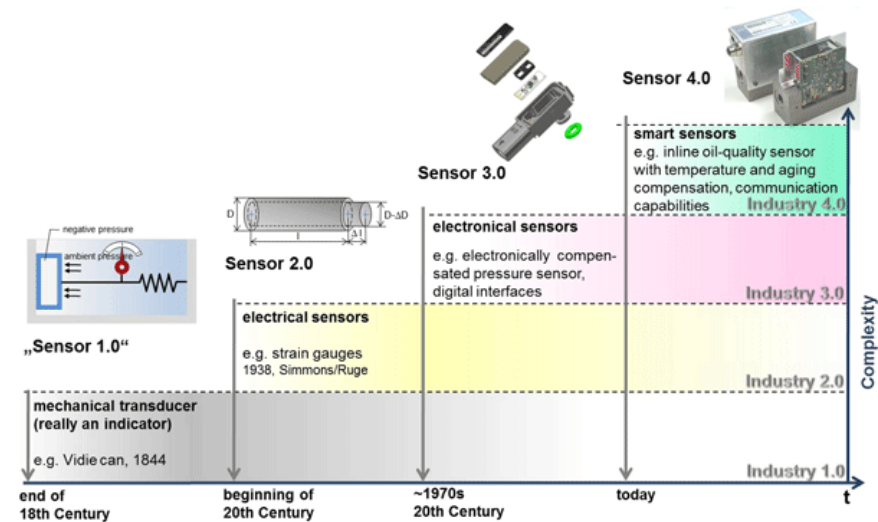
Los nanosensores se han transformado en componentes esenciales de la Industria 4.0, con las nanotecnologías como su base fundamental. Tecnologías emergentes como la IA, el IoT, el big data, el blockchain, la 5G, la impresión 3D, la robótica, los drones, la edición genética y la energía solar fotovoltaica (United Nations Conference on Trade and Development [UNCTAD], 2021), permiten digitalizar, almacenar, establecer interfases entre datos y materia, y conectar usuarios (Foladori & Ortiz-Espinoza, 2022).

Como señalan Zarepour et al. (2014, citado en Zayago Lau, 2024):

MEMS and NEMS are compact devices incorporating electronic, mechanical, and electrical components. Their size can range from a few tenths of a micrometer to several millimeters or some nanometers, and they can interact with physical, chemical, and biological processes at the microscopic level. (p.134)

En otras palabras, los NEMS aprovechan las propiedades fisicoquímicas únicas de los materiales a escala nanométrica, lo que les permite detectar o manipular parámetros físicos específicos a microescala e incluso generar efectos detectables a mayor escala. Aunque los sensores inteligentes (smart sensors) tienen una larga trayectoria, su aplicación actual responde a las necesidades de interconectividad y automatización de la Industria 4.0 (véase figura 3).

Figura 3. Evolución histórica de los sensores según tipo



Fuente: Schütze et al. (2018).

Los nanosensores se utilizan ampliamente en diversas industrias, incluyendo electrónica, atención médica, manufactura, aeroespacial y

defensa, ya que son capaces de recopilar datos a nanoescala que serían difíciles de manejar con sensores más grandes (Mordor Intelligence, s.f.). Un ejemplo tangible de nanosensores son los smartphones, que muchas industrias utilizan para hacer un seguimiento del ciclo de vida del proceso productivo. Cada vez más, las grandes empresas están transformando sus dispositivos para hacerlos más inteligentes, es decir, conectados, autónomos e interactivos (Castillo, 2017, citado en Foladori & Ortiz-Espinoza, 2022). Otro ejemplo importante de nanosensores se encuentra en el ámbito de la salud, donde se están desarrollando nuevas formas de monitorización remota de pacientes. Estos dispositivos portátiles tienen nanosensores instalados en el tejido, lo que les permite registrar datos médicos como la presión arterial, el ritmo cardíaco y los componentes del sudor, y advertir a los usuarios o profesionales médicos sobre cualquier cambio adverso en el cuerpo.

En 2019, Nanowear, empresa startup con sede en Estados Unidos, lanzó NanoSENSE, un ensayo clínico de validación diagnóstica de alerta y gestión de insuficiencia cardíaca. En el marco del estudio, desarrollaron SimpleSENSE, una prenda interior de monitoreo, y una plataforma de aprendizaje automático de circuito cerrado. La prenda utiliza nanosensores de tela patentados y aprobados por la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (Food and Drug Administration [FDA] por sus siglas en inglés) para registrar fonocardiografía, gasto cardíaco y volumen sistólico, y que puede incluir tecnología de evaluación de ECG multicanal que monitorea la postura, la variabilidad de la frecuencia cardíaca, la actividad, la impedancia torácica y la frecuencia respiratoria (DayOne, 2021). En enero de 2024, Nanowear recibió la autorización de la FDA para el uso de IA en el control de la presión arterial. La compañía recibió la autorización 510(k) de la FDA para el programa SimpleSense-BP, lo que constituye la cuarta autorización otorgada a la empresa. Este programa tiene como objetivo respaldar el diagnóstico de la hipertensión tanto en el hogar como en centros de atención médica o estudios clínicos (Hale, 2024).

Otras aplicaciones en nanomedicina incluyen el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades mediante el uso de nanopartículas en herramientas médicas, nanotecnología molecular y biosensores nanoelectrónicos. La nanomedicina se utiliza para desarrollar píldoras inteligentes y tratamientos contra el cáncer. También se emplean nanobots para realizar cirugías oculares o despejar obstrucciones arteriales. En este contexto, el término “píldoras inteligentes” se refiere a dispositivos electrónicos a escala nanométrica que, con la forma de píldoras farmacéuticas, ofrecen funciones avanzadas como administración de fármacos, detección y obtención de imágenes. Los nanobots, por su parte, son robots que operan a escala microscópica y pueden ser insertados en el cuerpo para reparar estructuras intracelulares, corregir deficiencias genéticas o eliminar enfermedades al eliminar partículas de ADN. Actualmente, su tamaño varía entre 0,1 y 10 micrómetros, por lo que no son exactamente de escala nanométrica. La intersección entre robótica y mecatrónica a nanoescala está facilitando estas aplicaciones en el campo de la medicina, aunque aún se encuentran en pleno desarrollo (DayOne, 2021).

En resumen, los nanosensores son posibles gracias a los NEMS, que se interconectan con la IA para recopilar, analizar y proporcionar información sobre datos específicos. No obstante, el hardware, a través de supercomputadoras y centros de procesamiento de datos avanzados, es determinante en su efectividad (Zayago Lau, 2024). Los nanosensores tienen aplicaciones en una amplia gama de sectores. Se espera que el mercado de nanosensores alcance los 0,88 billones de dólares en 2024 y llegue a los 1,51 billones de dólares en 2029, con un crecimiento anual compuesto del 11,35% durante este período (Mordor Intelligence, s.f.).

Dependencia tecnológica y riesgos emergentes

Existen condiciones estructurales que obstaculizan la investigación de tecnologías en países fuera del Norte Global, lo que

actúa como una barrera para su aplicación y desarrollo. Por lo tanto, es crucial analizar tanto la nanotecnología como la IA en la lógica de la acumulación global, considerando tanto las relaciones objetivas como a las subjetivas, y cómo ambas contribuyen a configurar las desigualdades.

En cuanto a la acumulación y los aspectos objetivos, tanto en las nanotecnologías como en la IA, un indicador clave para medir la importancia de un país son las patentes, las cuales evidencian el liderazgo en la formalización y monopolización de los conocimientos relacionados con cierta tecnología. Tomando el caso de las nanotecnologías, Zayago Lau (2024), indica que, aunque Estados Unidos lidera el mercado mundial de nanoproductos, China supera a Estados Unidos en publicaciones científicas, manteniendo una ventaja competitiva. En 2023, China registró 938.217 artículos científicos, mientras que Estados Unidos alcanzó solo 437.679, lo que equivale a casi la mitad de lo publicado por el gigante asiático.

No obstante, países como Estados Unidos, Japón y Corea del Sur han logrado mantener su liderazgo en la fabricación de productos nanotecnológicos con 69.100, 11.440 y 11.224 patentes, respectivamente. En cambio, China presentó 7.032 patentes, ubicándose en el quinto lugar, justo después de Taiwán con 7.305. En el caso de América Latina, Brasil, México y Argentina son los países líderes en publicaciones, patentes, empresas e infraestructura en nanotecnología (Foladori et al., 2018). Hasta 2023, Brasil había registrado 45.760 publicaciones de nanotecnología, con 1.085 compañías; México alcanzó 20.945 publicaciones y 138 compañías; y Argentina registró 9.808 publicaciones y 43 compañías (Zayago Lau, 2024). En este contexto, competir con los países centrales resulta impensable sin el apoyo en innovación tecnológica por parte de políticas públicas específicas y la integración a las cadenas globales de valor.

Desde una perspectiva subjetiva, es fundamental partir de dos proposiciones: en primer lugar, las relaciones sociales que intervienen

en el desarrollo de la tecnología en el capitalismo juegan un papel fundamental en la organización de la sociedad; y, en segundo lugar, la tecnología, dentro del marco de las relaciones capitalistas, constituye uno de los factores más relevantes para la acumulación, ya que incrementa la competitividad y los beneficios. La llegada de personal altamente cualificado, o cuadros técnicos, a los centros de producción en los países más desarrollados es, en parte, facilitada por sistemas educativos que forman a individuos con habilidades que posteriormente son absorbidas para mejorar las condiciones de producción y generar mayor competitividad, beneficiando a los sectores concentrados que lideran la innovación a escala global. Según Zayago Lau (2024), este fenómeno refuerza la dependencia tecnológica de los países del Sur Global. Además, como argumentan Foladori & Ortiz-Espinoza (2022), desde los años 90 ha crecido la tendencia hacia la precarización del empleo no calificado, un proceso que, con la llegada de la Industria 4.0, se ha intensificado debido a la creciente y acelerada sustitución de trabajo humano por maquinaria.

En cuanto a las condiciones de desigualdad, la acumulación de conocimientos, la financiación, las infraestructuras, las patentes y la monopolización de beneficios determinan en gran medida la trayectoria de la dependencia tecnológica del Sur Global. Un claro ejemplo de esto es la brecha digital, con disparidades en conectividad a Internet que alimenta las desigualdades tanto dentro de los países como entre naciones. Esta tendencia se ha intensificado desde la pandemia de COVID-19, dejando a los países del Sur Global en una posición tecnológica vulnerable (Mena Roa, 2021; Mishi & Anakpo, 2022, en Zayago Lau, 2024).

De acuerdo con Zayago Lau (2024), es posible superar algunas barreras tecnológicas mediante estrategias como inversiones en educación y desarrollo de competencias, la promoción de la innovación, el fomento de la colaboración internacional y el aprovechamiento de la inversión extranjera directa. En este marco, desde la década de 2000, países como India y China se han convertido en centros de

subcontratación tecnológica y fabricación, aprovechando su gran volumen de mano de obra y las oportunidades de expansión de los mercados nacionales.

Finalmente, a medida que la ciencia y la tecnología contribuyen al desarrollo capitalista, surgen riesgos como el desplazamiento de trabajadores, el incremento de la explotación, el crecimiento del monopolio. Además, las implicaciones para la salud y el ambiente a menudo son ignoradas. La implementación de programas nanotecnológicos en países desarrollados ha evidenciado riesgos ambientales derivados de los nanomateriales, lo que ha generado que algunas ONGs y sindicatos emitan comunicados en contra del desarrollo de estas tecnologías (Invernizzi y Foladori, 2013, en Villa Velázquez, 2022). Esto mismo podría empezar a ocurrir con las aplicaciones de IA, particularmente respecto al consumo desproporcionado de agua y de energía (Wu et al., 2022; Crawford, 2024; Lagos, 2024; Pascual, 2024; Retamar, 2024). Sin embargo, también surgen estudios que destacan el potencial de la IA para cuidar el ambiente, como un estudio que utiliza la robótica y el aprendizaje automático para acelerar el descubrimiento de sustitutos de plásticos naturales con propiedades ópticas, térmicas y mecánicas programables (Chen et al., 2024).

Más allá de estos aportes, es fundamental entender que las acciones voluntarias no son suficientes para contrarrestar la creciente dependencia y los riesgos asociados. Reducir los impactos de las tecnologías digitales y la brecha tecnológica entre los países del Norte y del Sur Global requiere revisar las bases estructurales que convierten a una tecnología en fuerza productiva del capital y reafirmar el carácter no neutral de la ciencia y la tecnología. Reducir la brecha tecnológica exige un esfuerzo concertado de gobiernos, empresas, organizaciones sociales y sociedad civil, con el objetivo de promover un desarrollo inclusivo y una justicia social y climática que permita a las economías del Sur Global alcanzar su máximo potencial. Para lograr esto, es esencial que los gobiernos inviertan en

programas educativos orientados a fortalecer las capacidades de sus comunidades, así como en el fortalecimiento de sistemas nacionales de innovación alineados con las prioridades locales, en un proceso en el que las universidades públicas desempeñan un papel central.

Conclusiones

La convergencia de la IA y las nanotecnologías constituye un proceso esencial para la configuración de la Industria 4.0, al generar nuevas capacidades para transformar la productividad a escala global. Al combinar el procesamiento masivo de datos con la manipulación precisa de la materia a escala nanométrica, estas tecnologías están redefiniendo los límites de lo posible en sectores clave como la manufactura, la medicina, la energía y las comunicaciones. Ejemplos claros de transformación incluyen la miniaturización de los dispositivos electromecánicos y la creación de nanosensores, los cuales muestran cómo la convergencia de estas tecnologías puede revolucionar industrias enteras.

No obstante, el desarrollo de estas tecnologías no es neutral. A medida que avanza la IA y las nanotecnologías, también se profundizan las desigualdades estructurales entre el Norte Global y el Sur Global. Los países del Norte, con infraestructuras tecnológicas avanzadas, mayor acceso a financiamiento e influencia sobre las patentes y la propiedad intelectual, continúan liderando la innovación. Por el contrario, los países del Sur enfrentan barreras significativas para acceder a estas tecnologías, lo que perpetúa una dependencia tecnológica que se agrava por el intercambio desigual, el monopolio del conocimiento y la fuga de talento -o, individuos altamente calificados- hacia economías más avanzadas.

Los casos de China e India muestran que, bajo condiciones locales favorables, es posible que los países periféricos se inserten en las cadenas globales de valor, aprovechando el potencial de su fuerza de trabajo y mercados nacionales en expansión. Sin embargo, las

desigualdades tecnológicas persisten y se intensifican, especialmente debido a la falta de soberanía tecnológica, políticas públicas y marcos regulatorios robustos en muchos países del Sur Global.

La convergencia entre estas dos tecnologías también da lugar a nuevos fenómenos de colonialismo digital. Mientras ciertos países y grandes corporaciones controlan la innovación y la propiedad intelectual, los países del Sur Global no solo enfrentan dificultades para acceder a estas tecnologías, sino que también se ven expuestos a nuevas formas de explotación derivadas de la automatización y la precarización laboral asociada a la Industria 4.0.

La brecha tecnológica tiene una dimensión subjetiva. Es crucial que los países del Sur Global inviertan en educación, formación de científicos y científicas y políticas de innovación que no solo responda a las necesidades globales, sino que también aborden de manera efectiva los problemas y prioridades locales. Las universidades públicas juegan un papel fundamental en este proceso, ya que pueden contribuir al fortalecimiento de los sistemas nacionales de innovación y servir como puentes entre el Estado y las organizaciones sociales. Si las políticas no incluyen un enfoque de justicia y no consideran las realidades locales, se corre el riesgo de reforzar las estructuras de poder existentes, perpetuando una perspectiva de desarrollo tecnológico que favorece a un puñado de empresas que dominan el sector.

En este contexto, la necesidad de una estrategia política situada y con perspectiva de integración regional se vuelve cada vez más urgente para los países del Sur Global, que buscan aprovechar las oportunidades ofrecidas por la IA y las nanotecnologías, sin caer en nuevas, ni tan nuevas, dinámicas de dependencia e intercambio desigual.

Referencias

- Aguilera, L. (2023). Nueva fase. Trabajo, valor y tiempo disponible en el capitalismo del siglo XXI. Editorial Punto de Encuentro.
- Almario, M. A. (2023, 1 de julio). Estados Unidos, China y Corea, los que lideran la industria de IA en fabricación de chips. La República. <https://n9.cl/pspj8>
- Basir, R., Qaisar, S., Ali, M., Aldwairi, M., Ashraf, M. I., Mahmood, A., & Gidlund, M. (2019). Fog computing enabling industrial internet of things: State-of-the-art and research challenges. *Sensors*, 19(21). <https://doi.org/10.3390/s19214807>
- Bravo, J. (2024, 30 de agosto). El futuro de los semiconductores. El Economista. <https://n9.cl/dq46l4>
- Bresnahan, T. F., & 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)
- Chen, T., Pang, Z., & He, S. (2024). Machine intelligence-accelerated discovery of all-natural plastic substitutes. *Nature Nanotechnology*, 19, 782–791. <https://doi.org/10.1038/s41565-024-01635-z>
- Crawford, K. (2024, 22 de febrero). Generative AI is guzzling water and energy. *Nature*. <https://www.nature.com/articles/d41586-024-00478-x.pdf>
- DayOne. (2021, 16 de julio). AI and nanotechnology in healthcare. <https://n9.cl/pgocl>
- Emergen Research. (2023, 20 de junio). Empresas de nanotecnología a tener en cuenta en el futuro cercano. <https://n9.cl/7r7qo>
- Foladori, G., Invernizzi, N., Osma, J. F., & Zayago, E. (2018). Cadenas de producción de las nanotecnologías en América Latina: Argentina, Brasil, Colombia y México. Universidad de los Andes.
- Foladori, G., & Ortiz-Espinoza, Á. (2022). La relación capital-trabajo en la Industria 4.0. *Íconos. Revista de Ciencias Sociales*, 73, 161-177.
- Hale, C. (2024, 5 de enero). Smart clothing maker Nanowear collects FDA AI clearance for cuffless blood pressure monitoring. Fiercebio-tech. <https://n9.cl/ku5h5>
- IBM. (2023, 12 de octubre). Understanding the different types of artificial intelligence. <https://n9.cl/gvsio>

- Lagos, A. (2024, 20 de septiembre). La IA ahora va por tu agua: ¿Por qué deberíamos preocuparnos por la instalación de centros de datos en el Sur Global?. Wired. <https://n9.cl/79qwx>
- McCarthy, J. (2007, 11 de noviembre). What is artificial intelligence. Stanford University. <https://n9.cl/2p5w7>
- Mena Roa, M. (2021, 19 de febrero). El desigual acceso a Internet en el mundo. Statista. <https://n9.cl/9o6w9>
- Mordor Intelligence. (s.f.). Tamaño del mercado de nanosensores y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029). <https://n9.cl/7eeor>
- Nanografi. (s.f.). Artificial intelligence integration with nanotechnology. <https://n9.cl/rodpe>
- Pascual, M. (2024, 16 de julio). La inteligencia artificial ya es un problema medioambiental. El País. <https://n9.cl/gyrock>
- Porcelli, A. M. (2020). La inteligencia artificial y la robótica: sus dilemas sociales, éticos y jurídicos. Derecho global. Estudios sobre derecho y justicia, 6(16), 49-105.
- Retamar, N. (2024, 19 de julio). Consumo elevado de agua y energía: la otra cara de la inteligencia artificial. Agencia de Noticias Científicas. <https://agencia.unq.edu.ar/?p=21309>
- Sánchez Martínez, E., & Cruz Hernández, E. (s.f.). Semiconductores y Nanotecnología: Héroes Silenciosos de la Tecnología Moderna. CIACYT - Universidad Autónoma de San Luis Potosí. <https://n9.cl/rokkt>
- Schütze, A., Helwig, N., & 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>
- Schwab, K. (2017). La cuarta revolución industrial. Printing Books S. A.
- Shea, C. M., Grinde, R., & 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>
- Statista. (2024). Tamaño del mercado de la inteligencia artificial a nivel mundial de 2020 a 2030. <https://n9.cl/a19xf>
- United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). (2021). Technology and innovation report. United Nations. <https://n9.cl/kfcf6k>

- Villa Vázquez, L. (2022). Educación de las nanotecnologías en México y las implicaciones sociales, riesgos y medio ambiente. *TECHNO REVIEW. International Technology, Science and Society Review/Revista Internacional de Tecnología, Ciencia y Sociedad*, 11(3), 1-12. <https://doi.org/10.37467/revtechno.v11.3812>
- Wu, C. J., Raghavendra, R., Gupta, U., Acun, B., Ardalani, N., Maeng, K., & Hazelwood, K. (2022). Sustainable AI: Environmental implications, challenges and opportunities. *Proceedings of Machine Learning and Systems*, 4, 795-813. <https://arxiv.org/abs/2111.00364>
- Zayago Lau, E. (2024). Nanotechnology and AI as a challenge for development in semi-peripheral and peripheral countries. En M. Erdoğan, E. Alaverdov, A. García, Ö. B. Gürsoy, & N. Çankır, (eds.). *Inflation, Inequality, Nanotechnology, and Development* (pp. 119-143). IJOPEC Publication Limited.

Artificial Intelligence and Nanotechnologies in the Context of Digital Transformation and Development

Inteligência Artificial e Nanotecnologias no Contexto da Transformação Digital e do Desenvolvimento

Betiana Elizabeth Vargas

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0000-0002-1727-0483>

betiana.vargas@uaz.edu.mx

betianaevargas@gmail.com

Doctoranda en Estudios del Desarrollo de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ). Becaria SECIHTI, México. Mg. en Ciencias Sociales. Esp. en Educación y Nuevas Tecnologías. Lic. en Psicopedagogía.

Abstract

This study examines the impact of the convergence between nanotechnologies and artificial intelligence (AI) on global digital transformation, with special emphasis on its social and economic implications. Through a comprehensive literature review, the analysis explores the emerging applications of these disruptive technologies, their effects on the global economy, and their relationship with political economy. The analysis identifies how, despite offering development opportunities, the integration of AI and nanotechnologies tends to deepen inequalities between the Global North and the Global South. The findings suggest that while these technologies can foster development, they also reinforce structures of technological dependence and perpetuate various forms of colonialism. Furthermore, the study underscores the importance of the State in promoting specific public policies, regulatory frameworks, and innovation systems tailored to local conditions to address the particular challenges and problems of peripheral countries. In this context, the role of Universities as bridges between the State and social organizations is highlighted, as well as the need for a political strategy focused on social and environmental justice. This approach would enable emerging economies to harness the opportunities without becoming trapped in dynamics of structural dependency.

Keywords: Artificial Intelligence (AI); Nanotechnologies; Digital Transformation; Development.

Resumo

O presente estudo examina o impacto da convergência entre as nanotecnologias e a inteligência artificial (IA) na transformação digital global, com especial ênfase em suas implicações sociais e econômicas. Por meio de uma revisão bibliográfica abrangente, analisam-se as aplicações emergentes dessas tecnologias disruptivas, seus efeitos na economia global e sua relação com a economia política. A análise detecta como, apesar de oferecer oportunidades de desenvolvimento, a integração da IA e das nanotecnologias tende a aprofundar as desigualdades entre o Norte e o Sul Global. Os achados sugerem que, embora essas tecnologias possam fomentar o desenvolvimento, elas também reforçam estruturas de dependência tecnológica e perpetuam diversas formas de colonialismo. Da mesma forma, sublinha-se a importância de o Estado impulsionar políticas públicas específicas, marcos regulatórios e sistemas de inovação adaptados às condições locais para abordar os desafios e problemas particulares dos países periféricos.

Nesse contexto, ressalta-se o papel das Universidades como pontes entre o Estado e as organizações sociais, e a necessidade de uma estratégia política centrada na justiça social e ambiental que permita às economias emergentes aproveitar as oportunidades sem ficarem presas em dinâmicas de dependência estrutural. Palavras-chave: Inteligência Artificial (IA); Nanotecnologias; Transformação Digital; Desenvolvimento.