

# **PROGRAMA INVESTIGA I+D+i 2023/2024**

## **LÍNEA**

### **Nanociencia, nanotecnología y nuevos materiales**

#### **GUÍA INTRODUCTORIA AL TEMA:**

## **"Nanotecnología e Inteligencia artificial: sinergias entre dos tecnologías emergentes"**

#### **DATOS DEL EXPERTO:**

Dr. Pedro A. Serena Domingo

Investigador del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid

Consejo Superior de Investigaciones Científicas

#### **Resumen**

En esta edición nos encontramos ante el reto de encontrar la relación de dos tecnologías emergentes: la que permite la manipulación de la materia a escala atómica (nanotecnología) y la que permite diseñar sistemas que tengan comportamientos cognitivos similares a los que tenemos los humanos (inteligencia artificial, IA). Se trata de encontrar la manera en la que la nanotecnología y la inteligencia artificial están conectadas, como interaccionan para facilitar su avance mutuo y de paso proyectarse en otros sectores. La nanotecnología puede favorecer el avance de la IA a la vez que esta puede ayudarnos a entender y explotar el conocimiento del nanomundo. Se trata de un interesante reto para las personas que participen en esta edición del certamen ya que requiere acercarse y familiarizarse con dos líneas de investigación que están en la frontera del conocimiento. En este documento se dan algunas pistas sobre cómo adentrarse en este territorio. En resumen se trata de presentar trabajos que exploren la relación entre ambas disciplinas desde diferentes puntos de vista, con creatividad y originalidad.

## 1. Introducción: Nanociencia y nanotecnología.

La **nanociencia, la nanotecnología y los nuevos materiales** han sido considerados, de forma conjunta, una de las **cinco líneas estratégicas** en todas las anteriores ediciones del Programa Investiga IDI, (<http://www.programainvestiga.org/>). En otras ediciones, la guía introducción contenía una introducción en la que se realizaba una presentación relativamente larga del **nanomundo** (también denominado **nanoescala**), que esta “poblado” por **nanoobjetos, nanoestructuras y nanomateriales**, de cómo este nanomundo se estudiaba mediante la **nanociencia** y sobre cómo este conocimiento se aplicaba en sectores diversos mediante la **nanotecnología**. Aunque muchas personas piensan que la nanociencia y la nanotecnología son términos modernos o casi futuristas, no son tan novedosos ya que las investigaciones en nanociencia llevan fraguándose en los laboratorios de investigación durante casi cincuenta años. Ya en el año 1959, el Premio Nobel de Física **Richard Feynman**, uno de los investigadores más polifacéticos e interesantes del siglo XX, anticipó muchos de los conceptos que se manejan actualmente en esta fascinante disciplina. Durante los últimos 20-30 años es cuando la nanociencia y la nanotecnología han experimentado un espectacular impulso gracias a las inversiones efectuadas por parte de gobiernos, instituciones y empresas. Por cierto, la figura de Richard Feynman aparece en la película **“Oppenheimer”** estrenada este mismo verano. Se recomienda ver esta película para conocer a muchos de los padres de la física moderna y cómo la ciencia y la tecnología interaccionan con la sociedad y la política.

En esta ocasión, en lugar de volver a incluir esta larga introducción a la nanotecnología como parte de esta guía, voy a recomendar a las personas que vayan a realizar el trabajo de esta edición que acudan a las guías de las ediciones anteriores, por ejemplo la 2022-2023, denominada “Guía introductoria al tema ‘Nanotecnologías y nanomateriales para un planeta sediento: aplicación a los recursos hídricos’ para que de su introducción obtengan una información razonable sobre muchos de los aspectos generales que hay que conocer sobre el nanomundo. Se recomienda, en particular, leer la sección 2 de esta guía titulada “Nanociencia y Nanotecnología: aspectos generales”. Por cierto, esta guía junto con las otras de las demás ediciones y líneas se encuentra en la página web [https://www.programainvestiga.org/documentacion\\_historica.php](https://www.programainvestiga.org/documentacion_historica.php).

A modo de resumen debe quedar claro que la **nanociencia** trata de **entender** cómo se forman los nanoobjetos y nanoestructuras, qué propiedades tienen, cómo interaccionan entre ellos para construir estructuras de mayor complejidad, mientras que la **nanotecnología** busca **sacar provecho de la aplicación** de estas propiedades nuevas o mejoradas cuando se utilizan en la fabricación de materiales y dispositivos. Antes de seguir, hay que recordar que el prefijo “nano” equivale a la mil millonésima parte de algo y que un nanómetro equivale a 0,001 micrómetros o micras, a 0,000001 milímetros, o a 0,000000001 metros. Estas equivalencias también se pueden escribir  $1 \text{ nm} = 10^{-3} \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ mm}$ . Pues

bien, la nanociencia y la nanotecnología son disciplinas **multidisciplinares**, configuradas a través de aportaciones de las diferentes disciplinas tradicionales (física, química, biología, medicina, ingeniería electrónica, ingeniería de materiales). Dado que los sectores de aplicación de la nanotecnología son muy numerosos se habla de su **carácter multisectorial, ubicuo o transversal**. Además estas aplicaciones de lo “nano” son **invisibles** dado que todo los nanobjetos y nanomateriales son demasiado pequeños como para ser vistos por el ojo humano o incluso un microscopio óptico. Por todas estas razones la nanotecnología se ha ido aplicando en muchos campos de investigación y en diferentes sectores de actividad económica. Pues bien, en esta edición del curso 2023-2024, vamos a adentrarnos en el tema de **la conexión entre la nanotecnología y la inteligencia artificial**.

### **3. La Inteligencia Artificial (IA)**

Cuando una persona trabaja en ciencia se especializa tanto que no tiene que saber con profundidad de todas y cada una de las disciplinas científicas. Es imposible. De hecho los científicos vivimos en “islas del conocimiento” y por lo general lo que compartimos es el método científico como herramienta para explorar y explicar racionalmente nuestro mundo.

Mi campo de trabajo no es el de la Inteligencia Artificial sino el de la nanotecnología. Para cubrir mi “déficit de conocimiento” es posible buscar en decenas de páginas web, libros o artículos... o sencillamente, acudir a una inteligencia artificial para que describa lo que es una inteligencia artificial. Así que he ido a la web del archiconocido sistema **ChatGPT** de la empresa OpenAI (<https://chat.openai.com/>) y le he realizado esta pregunta: “¿Cómo definirías lo que es la inteligencia artificial a un estudiante de 15 o 16 años en menos de 100 palabras?”.

Y ChatGPT me ha respondido: “La inteligencia artificial (IA) es una tecnología que permite a las computadoras aprender y tomar decisiones como lo haría un ser humano. Utiliza algoritmos y datos para resolver problemas, reconocer patrones y mejorar con la experiencia. La IA se utiliza en diversas aplicaciones, como reconocimiento facial, recomendaciones en línea y asistentes virtuales. Es una herramienta poderosa que está transformando industrias y mejorando nuestras vidas, pero también plantea preguntas éticas sobre la privacidad y el control. En resumen, la IA es una rama de la informática que busca dar a las máquinas la capacidad de pensar y aprender como las personas.”. Evidentemente es una buena respuesta y por eso la he reproducido.. Seguro que las hay mejores, más matizadas, con diferentes perspectivas, pero esta puede valer para entender los rasgos fundamentales de la IA.

Desde luego, la IA es un campo en plena ebullición y se está convirtiendo en uno de los pilares de nuestro sistema socio-económico de cara a las próximas décadas. Es cierto que ya llevamos conviviendo con la IA mucho tiempo, pero a raíz de herramientas como Chat GPT (que alcanzó 100 millones de

usuarios en pocos meses) la popularización de esta disciplina ha crecido muchísimo. Una institución como el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) tiene institutos dedicados al tema como el Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial (IIIA) <https://www.iiia.csic.es/es/>. Si la persona que lee este documento (participante del Programa Investiga o profesor de un centro educativo) quiere estar al tanto de lo que se cuece en la IA desde la perspectiva del CSIC así como de las estrategias del CSIC en este campo es recomendable que se descargue gratuitamente el libro sobre estos temas de la colección “CSIC Scientific Challenges: Towards 2030”. Este libro se encuentra en la web <https://desafios2030.csic.es/inteligencia-artificial-robotica-y-ciencia-de-datos/>.

#### **4. La conexión nano-IA**

Una vez que nos hemos empapado de muchos de los conceptos que existen en nanotecnología y que nos hemos familiarizado un poco con el tema de la IA, ahora llega el momento de dar unas pinceladas sobre las conexiones existentes entre estos dos campos tan amplios y tan actuales. Tras la lectura de este texto podremos empezar a profundizar algo en estas conexiones con el fin de realizar el trabajo con el que participar en esta edición del Programa Investiga I+D+I.

##### 4.1. La importancia de la nanoelectrónica en el desarrollo de la IA.

A principios de este siglo se puede decir que la microelectrónica se convirtió en **nanoelectrónica** y que en estos momentos todos los dispositivos electrónicos que usamos tienen tecnologías por debajo de los 20 nm (incluso ya de 5 nm). En breve se comercializarán dispositivos con tecnologías de 3 nm. Esta miniaturización incesante ha impactado en la capacidad del procesado de datos y de su almacenamiento en cantidades ingentes, así como en la capacidad de enviar estos datos a lugares muy distantes a gran velocidad. Es decir, detrás de todos los algoritmos que hay en la “mente” (códigos) de la IA hay un “corazón” (hardware) que es el motor que ejecuta los algoritmos. Los procesadores y memorias se han hecho muy potentes a la vez que es posible construir sistemas de cálculo formados por cientos, miles o millones de los mismos (**supercomputadores**) albergados en sofisticados Centros de Proceso de Datos (CPDs). Esta evolución de la nanoelectrónica ha permitido tener capacidades de cálculo que van creciendo exponencialmente.

Además, en los últimos 20-30 años se han desarrollado arquitecturas novedosas que han dado lugar a sistemas de tipo GPU (tarjeta gráfica) que tienen gran potencial para ser usados en máquinas dedicadas exclusivamente a la IA. Un ejemplo es el chip CS-2 de la empresa **Cerebras** que tiene más de 2 billones (españoles) de **transistores** elaborados con tecnología de 7 nm. ¡Una barbaridad!

Sin embargo, pensando en el futuro, dado que los transistores se harán más pequeños y consumirán menos energía es previsible que los procesadores dedicados a IA serán mucho más potentes y

eficientes. ¿Cuánto? Es difícil de predecir pero pensemos que la **Ley de Moore** nos señala que cada dos años se duplica la capacidad de procesamiento de datos por parte de un procesador o del almacenamiento de datos en un disco duro. Es decir cada 14 años se multiplican por 130 las prestaciones de los dispositivos. Además es posible que suceda alguna **disrupción tecnológica** en el mundo de la nanoelectrónica y que materiales como el **grafeno** irrumpa para sustituir parcialmente al silicio en ciertas aplicaciones, por lo que los procesadores podrían aumentar sus velocidades otro factor cien adicional. ¿Qué sucederá con móviles o tablets que sean 10.000 veces más potentes que las que tenemos ahora? Si trasladamos estos avances al ámbito de la IA es posible que los procesadores específicamente diseñados para la IA tengan dentro de unos pocos años unas capacidades de procesamiento similares o superiores a las de un cerebro humano. ¿Qué harán esos sistemas? Es difícil saberlo, pero se necesitan personas capaces de entender cómo funcionan y controlar su evolución.

En la dirección de generar dispositivos más potentes también avanza la **computación neuromórfica**, que es un enfoque puramente inspirado en la estructura y el funcionamiento del cerebro humano. Su objetivo es desarrollar sistemas de cómputo que imiten ciertos aspectos de la neurobiología del cerebro humano para realizar tareas de manera más eficiente y con un menor consumo de energía en comparación con las computadoras convencionales. En estos desarrollos estará presente la nanotecnología, como no puede ser de otra forma.

Y a todo lo anterior vamos a sumar la aparición y el rápido desarrollo de la **computación cuántica**, otro campo que merecería por sí solo una línea del Programa Investiga. Pues bien, cuando los sistemas de computación cuántica se implanten de forma masiva, sustituyendo parcialmente a los supercomputadores clásicos (los que operan ahora mismo), podremos elevar varios órdenes de magnitud las capacidades de la IA del futuro. Ni que decir tiene que los avances en computación cuántica van de la mano de los desarrollos de la nanoelectrónica.

Queda claro que el futuro de la nanoelectrónica es clave para la IA.

#### 4.2. El diseño de nuevos nanomateriales y nanodispositivos.

La IA, por su parte, puede influir en la nanotecnología de varias maneras. Por un lado, los sistemas expertos basados en IA nos pueden permitir una mayor eficiencia a la hora de analizar y explotar los numerosos datos experimentales que se obtienen con los equipos de caracterización de muestras. Por ejemplo, un microscopio electrónico obtiene miles de imágenes que requieren la comparación entre ellas para encontrar patrones o defectos, y la IA nos puede facilitar esta comparación como ya ocurre en ámbitos como la medicina. A su vez, la IA puede decidir qué zona de una muestra es más

interesante para explorar, dirigiendo la observación realizada por el sistema operativo del microscopio. El papel del microscopista en este caso no desaparece sino que debe saber cómo funciona la herramienta de IA y cómo interpretar los resultados, e incluso debe estar al tanto de posibles errores cometidos por la IA (que los comete) para que aprenda de los mismos.

Por otro lado, las simulaciones que realizamos en supercomputadores para entender las propiedades de los materiales y el funcionamiento de dispositivos serán mejoradas gracias a la ayuda de códigos optimizados mediante IA. Además, en algunas simulaciones, la IA puede “tomar la batuta” cuando se trate de diseñar estrategias para encontrar estructuras óptimas (de mínima energía) para una configuración dada de átomos, por ejemplo. En este caso el programador o el usuario de los sistemas de software científico se verán ayudados por sistemas de IA que pueden acelerar su trabajo.

Además, la exploración metódica que puede hacer la IA en bases de datos que operen de forma abierta (Open Science) pueden servir para realizar descubrimientos que se nos han pasado de largo por nuestra incapacidad para gestionar tanta información.

Queda claro que la IA puede ser una gran aliada de la nanotecnología tanto en su vertiente experimental como teórica.

#### 4.3. Los riesgos de las tecnologías emergentes.

Los dos ejemplos anteriores muestran cómo la IA puede ser una aliada de la investigación en nanociencia y nanotecnología, y por otro lado, vemos que los avances en el ámbito “nano” sirven para desarrollar aún más la IA. Se trata de una especie de círculo virtuoso. Sin embargo no es oro todo lo que reluce. Todas las tecnologías tienen sus riesgos. Sin excepción. Unos son menores y otros pueden tener un gran impacto. Volviendo a la película “Oppenheimer” a ninguna persona se le escapa que los descubrimientos fascinantes sobre la estructura del núcleo atómico tuvo sobre nuestra sociedad impactos positivos (como la radioterapia) y negativos (como las bombas de fisión).

Otro aspecto que tienen en común la nanotecnología y la IA es el temor que ambas despiertan, derivado del posible mal uso de las mismas o de que estas tecnologías tomen las riendas de su propia evolución. En este caso tanto la nanotecnología como la IA deben pasar el escrutinio de la ética a través de todos los controles pertinentes que las sociedades debemos implementar. Este punto, relacionado con la ciencia, la tecnología y la ética, puede ser otro de los que pueden ser abordados en el trabajo de esta edición.

#### 4.4. ¿Y qué saben las IA de nanotecnología?

Otro posible enfoque del trabajo es el de usar alguna IA (como ChatGPT) para explorar un ámbito concreto de la nanotecnología, pero teniendo cuidado en comprobar si las cosas que nos dice son ciertas o no, contrastando nosotros mismos algunos de los datos que nos facilite la propia IA. En este caso, se recomienda explorar el tema relacionado con la nanoelectrónica del futuro y cómo esta rama impacta en la propia IA.

#### **5. Consejos generales sobre la realización de los trabajos.**

Como puede verse las temáticas de los trabajos que pueden hacerse son muy amplias y corresponde al participante en el certamen detectar uno o dos temas, bucear en ellos y sus diferentes aspectos, acudiendo a las fuentes adecuadas, para desarrollar una investigación que dé lugar a un informe que muestre la información encontrada de manera lógica y exponga las principales conclusiones a las que se ha llegado, desde una perspectiva personal.

Se recomienda tener en cuenta las siguientes pautas a la hora de escribir los trabajos:

- Se debe realizar el trabajo intentando enfocarse en el tema propuesto evitando extenderse en otros temas que también pueden ser interesantes, pero no corresponden con el tema pedido.
- Como el tema es muy amplio, se recomienda elegir una o dos temáticas concretas de entre las que se han descrito o alguna otra que le parezca interesante al estudiante.
- El trabajo debe ser concreto, no muy largo, evitando introducciones a la nanotecnología demasiado largas (pues el evaluador ya se conoce el tema). Se recomienda un máximo de 20-25 páginas.
- Estructurar el trabajo en secciones y sub-secciones bien diferenciadas, que respondan a una lógica argumentativa. Numerar las secciones y subsecciones (¡y las páginas!).
- Cuidar la redacción. Escribir con claridad, sin faltas de ortografía y con una buena sintaxis.
- Evitar el plagio de otros trabajos o de páginas web. El “corta-pegar” no está permitido y es fácilmente detectable. La documentación leída, se digiere, se procesa, y se plasma con las palabras del propio autor, añadiendo sus ingredientes adicionales y su estilo. Las frases que se usen literalmente deben ser entrecomilladas y su fuente tiene que ser citada convenientemente (incluso si se trata de un texto que ha escrito ChatGPT).
- Realizar una buena selección (no es necesario que sea muy larga) de referencias. Intentar minimizar las referencias a noticias publicadas en medios de comunicación, e ir a las fuentes originales (grupos de investigación, universidades, revistas científicas, libros, etc.). En la referencia indicar título del trabajo o libro, autores, volumen y página, fecha y enlace web.
- Incluir fotos o imágenes (citando su procedencia en el pie) solo si están relacionadas con el texto escrito. No incluir imágenes decorativas, sin más, ni incluir toda una batería de imágenes al final

pues hace que no tengan sentido. Hay que procurar insertar cada imagen o foto en el sitio donde corresponda.

- Es muy recomendable incluir alguna actividad o experiencia de producción propia: encuestas y su análisis, entrevista a estudiantes o investigadores, informes de visitas a laboratorios, experimentos realizados en el aula, etc. Estos elementos extra aportan un gran valor añadido al trabajo.
- Es muy importante incluir reflexiones, razonamientos y opiniones propias en el trabajo. Incluso es interesante intentar reflexionar sobre el futuro en base a lo aprendido.
- En el documento debe quedar claro el título del trabajo, la línea temática, la autoría y el colegio o instituto de procedencia.

## 6. Referencias y materiales de apoyo

### 6.1 Referencias y enlaces de carácter general relacionados con la Nanotecnología

- “Unidad Didáctica de Nanociencia y Nanotecnología” (J.A. Martín-Gago, E. Casero, C. Briones y P. A. Serena, FECYT, 2008). Disponible de manera gratuita en versión digital en la página web <http://www.fecyt.es> o en la dirección <http://www.oei.es/salactsi/udnano.pdf>
- “There`s a plenty of a room at the bottom”, R. Feynman, Engineering and Science 23:22-36 (1960). [https://en.wikipedia.org/wiki/There%27s\\_Plenty\\_of\\_Room\\_at\\_the\\_Bottom](https://en.wikipedia.org/wiki/There%27s_Plenty_of_Room_at_the_Bottom)
- “Nanotecnología para el Desarrollo Sostenible” (P. A. Serena, Colección “Qué sabemos de...”, Editorial La Catarata y el CSIC, Madrid, 2021).
- Serie de televisión “Qué sabemos de la nanotecnología”. Universidad Nacional de Educación a Distancia y CSIC. Esta serie consta de 17 capítulos a los que se puede acceder mediante el enlace <https://canal.uned.es/serial/index/id/875>
- Curso on-line “Todo Nano – Nano para todos” coordinado por la iniciativa 10alamos9 (<https://10alamos9.es/todonano/>)
- En la página web <http://product.statnano.com/> hay un inventario de productos de la Nanotecnología en el que ya se mencionan más de 9900 productos de todo el mundo que contienen algún tipo de nanocomponente. Más de un millar están relacionados con la medicina.
- Otro inventario de productos comercializados en Europa (más de 5000) en <http://nanodb.dk/>
- En España, una gran parte de los grupos de investigación que trabajan en la temática de la nanotecnología se encuentran agrupados en la Red Española de Nanotecnología (NANOSPAIN) (<http://www.nanospain.org>). En la sección “Members” pueden identificarse más de 380 grupos que trabajan en este tema, lo que puede ser de interés para realizar entrevistas que pueden incluirse como parte del trabajo.
- Iniciativa Nacional de Nanotecnología de los EE.UU. (NNI, <http://www.nano.gov/>). Hay una sección interesante dedicada a temas educativos con muchos recursos.

## 6.2 Referencias y enlaces relacionados con el tema propuesto (nanotecnología e inteligencia artificial)

- “CSIC Scientific Challenges: Towards 2030”. Disponible en <https://desafios2030.csic.es/inteligencia-artificial-robotica-y-ciencia-de-datos/>
- “Inteligencia Artificial” por Ramón López De Mántaras Badia y Pedro Meseguer González, Col. Qué sabemos de. CSIC-La Catarata.
- “Superinteligencia: Caminos, peligros, estrategias” de Nick Bostrom (2016).
- "Inteligencia artificial: una introducción filosófica" de Jack Copeland (1993).
- “Inteligencia artificial, naturalmente” por Nuria Oliver. Descargable en <https://www.ontsi.es/es/publicaciones/Inteligencia-artificial%2C-naturalmente>
- Aplicaciones de Inteligencia Artificial en Nanotecnología. Andrés Ruiz Carrasco. (Tesis doctoral) <https://repositorio.uam.es/handle/10486/673618>
- <https://tendencias21.levante-emv.com/la-inteligencia-artificial-y-la-nanotecnologia-revolucionan-el-universo-biomolecular.html>
- <https://www.bbvaopenmind.com/articulos/el-espiritu-en-la-maquina-la-nanotecnologia-la-complejidad-y-nosotros/>

## 6.3 Webs de noticias científicas (suelen tener buscadores incorporados).

- Servicio de Información y Noticias Científicas (SINC): <https://www.agenciasinc.es/>
- Servicio Notiweb de la Fundación Madrimasd: <https://www.madrimasd.org/notiweb>
- Agencia de noticias científicas AlphaGalileo: <https://www.alphagalileo.org/en-gb/>
- Noticias científicas (Science News): <https://www.sciencenews.org/>
- Nano Magazine: <https://nano-magazine.com/>
- Observatorio de la Unión Europea de nanomateriales <https://euon.echa.europa.eu/es/>
- Base de datos de la UE sobre proyectos, artículos, patentes, productos <https://nanodata.echa.europa.eu/index.php>

## 6.4 Guías y presentaciones correspondientes a ediciones pasadas del Programa Investiga I+D+I:

Se pueden descargar de:

- [https://programainvestiga.org/documentacion\\_historica.php](https://programainvestiga.org/documentacion_historica.php)
- [https://programainvestiga.org/documentacion\\_ponenciashistorica.php](https://programainvestiga.org/documentacion_ponenciashistorica.php)