



**INVESTIGA I+D+i 2017/2018**

**GUÍA ESPECÍFICA DE TRABAJO SOBRE "NANOTECNOLOGÍA Y SALUD"**

**Texto de Dr. Pedro Amalio Serena**

**Octubre de 2017**

## Introducción

---

La nanociencia, la nanotecnología y los nuevos materiales han sido una de las cinco líneas estratégicas de todas las ediciones del Programa Investiga IDI (<http://www.programainvestiga.org/>). Esto se debe a que estas temáticas se han ido configurando como áreas claves en la investigación del presente y del futuro de los países más desarrollados del mundo, y por su fuerte impacto socioeconómico. Se puede mencionar aquí que en los EE.UU. ya hace 17 años que se lanzó la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NNI, <http://www.nano.gov/>) que tenía como finalidad lograr que dicho país fuese líder mundial en la aplicación de la nanotecnología en multitud de sectores. Por otro lado en la Unión Europea, la nanociencia y la nanotecnología han sido un eje estratégico de investigación tanto para el VII Programa Marco como para el Programa Horizonte 2020. Otras regiones y países, como China, Japón, Rusia, Brasil, etc, han aparecido con gran fuerza en el panorama mundial e invierten muchos recursos en investigación en estos temas. Podemos mencionar que China ya lidera la producción científica en nanotecnología.

Una característica de la nanotecnología es su carácter transversal, es decir que tiene aplicación en un gran variedad de sectores, lo que ha permitido que en cada edición del Programa Investiga I+D+I se haya podido abordar un aspecto diferente. En las ediciones pasadas se han propuesto como temas: la nanotecnología y los materiales inteligentes, la nanotecnología y su aplicación en los deportes, el impacto de la nanotecnología en agricultura, alimentación y cosmética, los nano-robots, el fascinante y versátil grafeno, la nanotecnología para llevar puesta, la relación entre la nanotecnología y la implantación de las ciudades inteligentes y, en el último año, se abordó cómo la nanotecnología va a servir para el desarrollo sostenible. Cada vez quedan menos temas por tocar, pero hay uno, un tema estrella que aún queda por abordar.

En esta ocasión se propone un aspecto de la nanotecnología, de gran repercusión social, y que permite completar las temáticas que se han ido tratando en las anteriores ediciones: “la nanotecnología y la salud”. De esta forma el trabajo que presentarán los

y las participantes en el Programa deberán realizar un análisis de los puntos de encuentro (no necesariamente todos) entre la nanotecnología y nuestra salud. La elección de este tema tiene como finalidad lograr que los participantes se adentren en el fascinante mundo de la nanotecnología, identificando sus peculiaridades, mostrando su enorme potencial para generar nuevos materiales, fármacos y dispositivos que pueden ayudar a mejorar la salud de los seres humanos, prolongando su vida en unas mejores condiciones. Además, otro objetivo de igual importancia es hacer ver a los participantes que la nanotecnología tiene también un lado menos positivo, como ocurre con toda tecnología. El automóvil, los productos químicos o las centrales nucleares, son ejemplos de tecnologías que han aportado progreso a la humanidad pero que llevan implícitos muchos riesgos, que debemos gestionar de una forma adecuada, para al finar hacer balance entre los beneficios y los riesgos, y así decidir sobre la forma en que deben usarse y las regulaciones a que deben estar sometidas. En el caso de la nanotecnología se sabe que ciertos nanomateriales son potencialmente peligrosos para la salud y el medioambiente. Es muy importante que el uso de las nanotecnologías sea lo más inocuo posible para todos, por lo que se están haciendo estudios para lograr que no sean percibida como una amenaza por la sociedad, frenando así expectativas sobre su desarrollo. Es importante que los trabajos que hagan los participantes tengan en cuenta esta dualidad (los beneficios y los riesgos) especialmente en esta edición en la que se aborda el tema de la salud.

En resumen, en esta línea temática se tiene la oportunidad de tratar de aprovechar la fascinación que produce lo diminuto para fomentar la curiosidad por la ciencia, aumentar los conocimientos sobre las tecnologías que nos van a rodear a medio-largo plazo, y fomentar el espíritu crítico de los participantes, que serán los ciudadanos del futuro de nuestro país, algunos como consumidores y usuarios, otros como emprendedores, otros como investigadores científicos y, los menos, quizás como líderes políticos.

En la segunda sección de este documento se repasan los principales aspectos que caracterizan a la nanotecnología. La tercera sección se dedica a esbozar varias ideas sobre el tema planteado en esta edición del Programa Investiga I+D+I (la conexión

entre lo “nano” y la salud). La cuarta sección plantea una serie de preguntas y temas particulares que pueden utilizarse para ser debatidos en las aulas y participar en el Foro abierto del Programa Investiga I+D+I. Las ideas que se intercambien entre los participantes serán la semilla de los trabajos que los alumnos desarrollarán más adelante. La quinta sección proporciona unos consejos sobre la elaboración de los trabajos. Se termina este documento con un pequeño conjunto de referencias que pueden ser útiles para zambullirse tanto en el tema de la nanociencia y la nanotecnología como en la conexión de la nanotecnología con la salud.

### Nanociencia y Nanotecnología: aspectos clave

---

¿Qué es la “nanociencia”? De forma sencilla, se puede definir la “nanociencia” como la acumulación estructurada de conocimientos interconectados que permiten entender cómo funciona la naturaleza cuando es observada a una escala diminuta, la denominada “nanoescala”, es decir, cuando se observan objetos con un tamaño de unos cuantos nanómetros y se estudian sus propiedades. Por cierto un nanómetro es una unidad de longitud realmente pequeña: 1 nanómetro equivale a 0,001 micrómetros o micras, a 0,000001 milímetros, o a 0,000000001 metros. Se puede escribir la misma cadena de equivalencias usando notación científica:  $1 \text{ nm} = 10^{-3} \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ mm} = 10^{-9} \text{ m}$ . Es evidente que el prefijo “nano” (del griego “nanos”, diminuto) se utiliza para referirse a las cosas muy, pero que muy, pequeñas.

Por su parte la “nanotecnología” va más allá de la nanociencia, y pretende convertir los conocimientos básicos que la ésta nos proporciona en relación con las nuevas propiedades de los materiales para mejorar los bienes y los productos actuales o proponer otros radicalmente nuevos. De esta forma queda claro que la nanotecnología tiene que ver esencialmente con la aplicación del conocimiento que surge de la nanociencia. La generación del conocimiento requiere grandes inversiones, que pueden retornar como beneficios, si dicho conocimiento se pone en marcha. La generación del conocimiento se desarrolla fundamentalmente en universidades y centros de investigación, mientras que la aplicación del conocimiento se deberá desarrollar en centros tecnológicos y empresas.

Muchas veces se piensa que la nanociencia y la nanotecnología son términos modernos o casi futuristas, con los que nos encontramos de bruces en comics, películas, novelas o series de televisión. Sin embargo, 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 anticipó muchos de los conceptos e instrumentos que se manejan actualmente en esta fascinante disciplina. Sin embargo, es cierto que ha sido durante los últimos 15-20 años cuando la nanociencia y la nanotecnología han experimentado un espectacular impulso por parte de gobiernos, instituciones y empresas, que se han percatado de sus enormes posibilidades. A modo de ejemplo mencionaré que la primera iniciativa de grandes dimensiones para fomentar la nanotecnología se puso en marcha en los EE.UU. y se denominó “National Nanotechnology Initiative” (<http://www.nano.gov/>). Este interés se ha plasmado en enormes inversiones con las que se han puesto en marcha nuevos laboratorios, se han formado científicos e ingenieros expertos en estas temáticas, se han realizado prototipos y demostradores, etc. Dado que el término “nanotecnología” es el que más ha impactado en los medios de comunicación y en la sociedad, a partir de este momento será el que se use en este documento tanto para referirse a los aspectos básicos como más aplicados.

La nanoescala, que también suele denominarse “nanomundo”, es un escenario habitado por diferentes tipos de “nanoobjetos” y “nanoestructuras”, entre los que podemos incluir átomos, moléculas, nanopartículas, nanotubos de carbono, el grafeno, nanohilos metálicos y semiconductores, cadenas de ADN, proteínas, ribosomas, virus, etc. Esta “nanofauna” es interesante porque manifiesta una serie de fenómenos que no se pondrían de manifiesto si su tamaño fuese mucho mayor. Esto es lo que da a todo lo “nano” un gran valor añadido con respecto a los “micro” o lo “macro” y por eso se dice que lo “nano” es diferente. ¿Para qué se iba a tener interés en lo pequeño, desde un punto de vista tecnológico, si no tuviese un elevado valor añadido?

Pero ¿por qué aparecen estas nuevas propiedades? Hay varias razones. Por un lado se sabe que los átomos de las superficies se comportan de una forma diferente a la de los

átomos que se encuentran en el interior del objeto, ya que unos y otros tienen diferentes entornos. A medida que un objeto se hace más y más pequeño se observa como la proporción de átomos de la superficie aumenta más y más. Por ejemplo en una nanopartícula de 100 nm de diámetro, un 1-2% de sus átomos están en la superficie, mientras que en una nanopartícula de 3 nm ese porcentaje crece hasta aproximadamente el 60%. Se puede decir que la nanopartícula de 3 nm es más una superficie que un volumen. Por lo tanto, a medida que un objeto se hace más pequeño el peso de las propiedades de la superficie empieza a ser más y más importante y el papel de los átomos del interior es menos relevante.

Sin embargo no sólo se trata de la importancia de las superficies, sino que, además, a medida que el tamaño de los objetos se hace más y más pequeño, aparecen otros fenómenos que sólo la intrigante Mecánica Cuántica puede explicar. La Mecánica Cuántica deben entenderse como el “manual de leyes y reglas” que los científicos han escrito para entender la naturaleza, reglas y leyes que explican cómo se forman las moléculas y otros objetos más y más complejos, y cómo estos objetos reaccionan frente a deformaciones mecánicas, campos eléctricos, campos magnéticos o la luz. Pero no hay que alarmarse ya que los participantes del Programa Investiga IDI no van a tener que estudiar los fundamentos de esta apasionante disciplina (solo los que más adelante estudien física, química, o ingeniería electrónica o de telecomunicaciones podrán profundizar en su conocimiento). Por ahora deben saber que en los nanoobjetos aparecen una serie de efectos “cuánticos” que les proporcionan interesantes propiedades. Por ejemplo, los efectos cuánticos hacen que los electrones que se mueven dentro de una nanopartícula únicamente puedan poseer ciertas energías, que llamamos niveles permitidos de energía. Además, a medida que el nanoobjeto se hace pequeño los valores permitidos para estas energías van cambiando. Como consecuencia muchas propiedades eléctricas, magnéticas u ópticas, que dependen de estos niveles de energía, también se modifican a medida que cambia el tamaño del objeto. Por ejemplo, las nanopartículas de ciertos materiales semiconductores cambian de color a medida que su diámetro crece, pasando por casi toda la gama de colores del arco iris.

Los efectos que se han mencionado anteriormente se denominan “efectos de tamaño” y resultan bastante perturbadores, ya que para cada tamaño y forma que de un nanoobjeto éste muestra propiedades diferentes. Esto, que parece un descontrol, en realidad es la gran fuerza de la nanotecnología: si se controla el tamaño y la forma de un nanoobjeto, se pueden controlar sus propiedades y entonces estaremos en condiciones de sacar más provecho de ellas. La idea es fascinante. Por eso, el objetivo último de la nanotecnología es controlar, mediante metodologías físicas y químicas, la forma, tamaño y orden interno de los nanoobjetos y nanoestructuras para modificar a voluntad sus propiedades. Por ejemplo, controlando el tamaño y forma de los nanoobjetos se puede modificar su conductividad eléctrica, su color, su reactividad química, su elasticidad, etc. Se dice que podemos fabricar “materiales a medida” o que podemos “sintonizar” (o “tunear” en argot más juvenil) las propiedades de los materiales a nuestra voluntad. Este control de la materia a escala nanométrica se está mejorando continuamente gracias a poderosas herramientas físicas y novedosas reacciones químicas, que permiten fabricar nanodispositivos y sintetizar nanomateriales. Además, sofisticados instrumentos nos permiten observar lo que ocurre en el nanomundo. Entre estos instrumentos podemos destacar los nuevos microscopios electrónicos de transmisión, el microscopio de efecto túnel (STM), el microscopio de fuerzas atómicas (AFM) o los poderosos microscopios electrónicos de última generación. Estas herramientas permiten la observación e incluso, en algunos casos, la manipulación directa de átomos y moléculas. Desde hace casi 25 años, el ser humano ya sabe cómo manipular los átomos, uno a uno, para realizar pequeñas estructuras artificiales. ¡La nanotecnología se ha hecho mayor delante de nuestras narices y se puede decir que en breve entrará en su madurez!

Las ideas y herramientas que se usan en nanotecnología evolucionan de manera imparable gracias a las aportaciones que realizan biólogos, químicos, físicos, ingenieros, matemáticos y médicos. La nanotecnología es un campo absolutamente multidisciplinar, abierto en muchos frentes. Esto es así porque los componentes de la materia, átomos y moléculas, son los mismos para todas estas especialidades científicas. En la nanoescala todos usamos los mismos “ladrillos” fundamentales: átomos y moléculas. A dicha fusión de disciplinas se le denomina “convergencia

tecnológica”. La nanotecnología es un gran proceso de convergencia, que actualmente se sigue fraguando. Por otro lado no se debe olvidar que la biología juega un papel clave dentro de la nanotecnología, ya que la vida en sí misma es nanotecnología pura. No hace falta más que observar el interior de una célula para darse cuenta que realiza todas sus funciones gracias a “máquinas nanométricas”, que funcionan a la perfección gracias a larguísimo proceso evolutivo. Además, la biología nos presenta ante nuestros ojos un gran arsenal de soluciones y estrategias que nos permiten resolver problemas concretos. La biología es una inagotable fuente de “bioinspiración” que puede aportar soluciones a problemas que se presentan en otras áreas como la ciencia de materiales o la química.

Para terminar esta larga introducción no se debe olvidar mencionar que los “nanoproductos” concebidos a partir de la nanotecnología están invadiendo poco a poco la totalidad de los sectores económicos: materiales, electrónica, informática y comunicaciones, energía y medioambiente, transporte, construcción, sector textil, biotecnología, salud, agricultura, alimentación, etc. La nanotecnología ya comienza a ser un gran negocio y se puede afirmar que el futuro será “nano”. En este nuevo contexto, es muy importante tener en cuenta los posibles efectos secundarios (generalmente negativos) que pueden tener los avances de la nanotecnología. Estos posibles impactos negativos no son exclusivos de la nanotecnología, todas las tecnologías tienen su cara amable y su lado oscuro: la energía nuclear, las centrales térmicas, los vehículos, los aviones, etc. Es muy importante estar informados de los pros y los contras de cada tecnología para que, como ciudadanos formados y críticos, podamos conocer las repercusiones de todo tipo que los nanoproductos puedan tener, y así exigir que haya normativa y reglamentación adecuadas que garanticen una fabricación, una comercialización, un consumo y un reciclado seguros tanto para las personas como para el medioambiente.

## La nanotecnología y la salud

---

Seguramente la salud sigue siendo el principal tema de preocupación para la mayor parte de los seres humanos y condiciona en parte su percepción de bienestar. A lo

largo del siglo XX, la medicina ha incorporado muchos conocimientos procedentes de otras ramas científicas, logrando mejorar las técnicas de diagnóstico y tratamiento. La física y la ingeniería han aportado instrumental y equipamientos que a todos nos resultan familiares: los microscopios ópticos y electrónicos, la radiografía mediante rayos X, la resonancia magnética nuclear, sistemas para la realización de ecografías, marcapasos, cirugía láser, etc. La ciencia de materiales permitió el desarrollo de nuevos implantes. Por su parte, la bioquímica y la química han permitido entender una gran parte de los procesos que tienen lugar en nuestro organismo, han desarrollado técnicas de análisis precisas y nos han proporcionado un gran cantidad de productos farmacéuticos. El resultado ha sido el aumento generalizado de la esperanza de vida, sobre todo en los países más desarrollados, en los que además se ha producido un envejecimiento de su población, necesitando aumentar el gasto sanitario y redefinir los objetivos de los sistemas de salud. Más recientemente, la medicina, siempre abierta a las aportaciones de otros campos científicos, y la nanotecnología se han aproximado para constituir lo que se ha dado en llamar nanomedicina, término que se refiere a todo el conjunto de conocimientos y tecnologías relacionados con la nanoescala que se aprovechan para mejorar diagnósticos, tratamientos y prevención de enfermedades. En esta sección del documento revisaremos estos tres aspectos.

## Nuevos sistemas de diagnóstico

---

Uno de los objetivos de la nanotecnología es el desarrollo de sistemas de diagnóstico sencillos, rápidos y precisos mediante análisis in vitro (en los que la muestra se extrae del paciente para ser analizada en un laboratorio). Estos sistemas podrán determinar múltiples indicadores a partir de pequeñas cantidades de la muestra facilitando así un rápido diagnóstico. Muchos de estos análisis se llevarán a cabo usando pequeños biosensores desarrollados mediante técnicas de nanofabricación. Estos biosensores podrán detectar fragmentos de cadenas de ácidos nucleicos, enzimas, anticuerpos, proteínas, virus, bacterias, etc por lo que se podrán utilizar en biología, medicina, ciencias medioambientales, agricultura, alimentación y seguridad. La nanotecnología está propiciando nuevas estrategias para el diseño de los biosensores, como los basados en puntos cuánticos convenientemente funcionalizados para determinar la

presencia de cierta sustancia o como los basados en las micropalanca que se emplean en los microscopios de fuerzas atómicas. En la última década se ha realizado un uso intensivo de otro de tipo de biosensor, el denominado biochip (o microarray) de ADN. En la actualidad los biochips están formados típicamente por unidades de detección de menos de 100 nm de diámetro, e incluso se han llegado a desarrollar algunas unidades de detección formadas por moléculas individuales.

También se espera que la nanotecnología tenga influencia sobre los distintos tipos de diagnósticos basados en la imagen. El objetivo último de estas técnicas es proporcionar imágenes a escala molecular de las distintas estructuras que forman tejidos y órganos, tanto sanos como a lo largo de las diferentes fases de una enfermedad y de su tratamiento. Muchas de las técnicas de diagnóstico por imagen requieren el uso de agentes de contraste y la nanotecnología ya está logrando su reducción a tamaños antes inimaginables. Por ejemplo, la resonancia magnética nuclear permite obtener contraste entre tejidos de diferente composición, pero dicho contraste puede mejorar sustancialmente si se usa como agente de contraste nanopartículas magnéticas, de óxido de hierro, que una vez funcionalizadas son capaces de reconocer y unirse a ciertas dianas biológicas, proteínas o células que están asociadas a una enfermedad concreta.

## Nuevas terapias y tratamientos

---

Los tratamientos de las enfermedades también se verán afectados por las aportaciones de la nanotecnología. La nanotecnología mejorará la estrategia denominada liberación controlada de fármacos, mediante la cual el principio activo que se desea hacer llegar a una región concreta que padece una enfermedad se une a un sistema transportador que dirige la liberación del fármaco en el lugar adecuado. En este caso, el fármaco se mueve por el torrente sanguíneo o el medio citoplasmático hasta llegar a su destino para liberar total o parcialmente el principio activo. Los sistemas de transporte y liberación de fármacos de tamaño nanométrico que se están desarrollando están basados en diferentes nanoobjetos: micelas, liposomas, dendrímeros, nanopartículas, fullerenos, nanotubos de carbono, los denominados

conjugados poliméricos o virus modificados. En la actualidad se comercializan varios cientos de fármacos que emplean diversos tipos de vehículos para su administración por distintas vías. Si la misma nanopartícula o entidad nanométrica que lleva el fármaco se puede utilizar para hacer el diagnóstico (mediante Resonancia Magnética Nuclear) se hablaría de “teragnosis” (una mezcla entre terapia y diagnóstico). Este es un concepto de moda en los últimos años.

Además de estos fármacos la nanotecnología abre nuevas oportunidades como ocurre en el caso de las terapias térmicas basadas en el uso de nanopartículas. Supongamos que tenemos una nanopartícula magnética que se ha funcionalizado de tal manera que pierde su posible carácter tóxico e incorpora alguna biomolécula capaz de detectar y unirse a una diana biológica concreta. Ahora imaginemos que mediante poderosos imanes podemos dirigir estas nanopartículas por el interior del organismo hasta llegar al tejido u órgano donde está el tumor que se desea atacar. Una vez que las nanopartículas llegan al objetivo podemos aplicar dosis controladas de campos electromagnéticos que provoquen el rápido calentamiento de las nanopartículas. Este aumento local de la temperatura elimina los tejidos enfermos del entorno por la desnaturalización de las proteínas que lo forman.

## Implantes

---

Otras de las aplicaciones de la nanotecnología es su capacidad de proporcionar nuevos biomateriales que facilitarán la regeneración de tejidos. Hace casi 40 años que se comenzaron a sintetizar los primeros materiales biocompatibles basados en materiales nanoestructurados cerámicos o compuestos que no generaban el rechazo de nuestro sistema inmunológico. Estos biomateriales, de gran resistencia mecánica y una elevada vida media, se utilizaron en implantes óseos o dentales. Podemos destacar los biomateriales fabricados a partir de óxidos de aluminio, de zirconio, o de zinc. Muchos se siguen utilizando y se han mejorado gracias a la incorporación de nanotubos de carbono u otro tipo de nanoobjetos con el fin de aumentar la vida media de los implantes. Además los nanomateriales pueden incorporar nanopartículas bactericidas o capaces de liberar otras sustancias (como factores de crecimiento) haciendo que los

implantes del futuro sean mucho más eficientes. Además, los implantes podrán ir dotados con ciertos dispositivos que podrán medir cómo evoluciona su adaptación, su grado de deterioro, etc.

Las aplicaciones de nanotecnología en medicina van más allá de las ya expuestas y también se encuentran en vendajes, material quirúrgico, y equipos de iluminación en quirófanos. También se puede hablar del impacto de la nanotecnología en alimentación, tema que al fin y al cabo está conectado con la salud.

### No todo es tan positivo

---

Como ya se ha mencionado antes, la nanotecnología tiene una doble cara, que también debe tenerse en cuenta cuando se habla del tema salud. La nanotecnología por una lado promete enormes y revolucionarias posibilidades, pero por otro, presenta algunos riesgos que deben ser conocidos para controlarlos. En estos momentos estamos asistiendo a la primera fase de inserción de la nanotecnología en nuestras vidas bien mediante sofisticados dispositivos nanoelectrónicos o bien mediante una serie de productos poco elaborados basados en nanopartículas, nanotubos de carbono y otros tipos de nanomateriales. Aunque es cierto que, por lo general, los nanomateriales empleados no pueden liberarse fácilmente de los productos de los que forman parte, puede suceder que esta liberación ocurra paulatinamente, a lo largo la vida útil de los mismos o una vez que éstos hayan sido desechados. ¿Son peligrosos estas nanomateriales? ¿Se acumulan en nuestro cuerpo o en el de otras especies animales o vegetales? ¿Qué efectos produciría dicha acumulación? Los nanomateriales están fabricados, por lo general, a partir de sustancias inocuas para los seres vivos y el medioambiente, que siguen las normativas vigentes y cuentan con la preceptiva autorización para su manipulación. Sin embargo esta normativa se refiere a los materiales convencionales, y ya sabemos que la materia en formato nanométrico muestra propiedades distintas de las que posee en la escala macroscópica. Por tanto, no existe certeza absoluta sobre los efectos de estos nanomateriales sobre nuestro entorno y nuestra salud, y no se puede afirmar nada relativo a su inocuidad mientras no se realicen los pertinentes estudios. Este aspecto de los nanomateriales debe

tenerse en cuenta para la futura comercialización y aceptación social de la nanotecnología.

## Temas para reflexionar, debatir y desarrollar en los trabajos

---

Según hemos visto en la sección anterior, la nanotecnología puede derivar en la nanomedicina, disciplina que puede tener gran impacto en nuestra salud, pero algunos nanomateriales pueden tener efectos negativos en la salud de trabajadores y de usuarios. Nos encontramos de nuevo ante las dos caras de un avance científico. Con todo lo que hemos leído hasta ahora está claro que los participantes en esta edición del programa pueden realizarse preguntas como las siguientes, con el fin de establecer las líneas de trabajo:

- ¿Qué es la nanotecnología?
- ¿Qué asuntos incluimos cuando hablamos de salud?
- ¿Qué avance en nanotecnología tienen repercusión en medicina?
- ¿Cómo afectará la nanotecnología en el desarrollo de sistemas de diagnóstico de enfermedades?
- ¿Cómo afectará a los tratamientos de enfermedades como el cáncer, el sida o el Alzheimer?
- ¿Los nanomateriales se usan como marcadores? ¿De qué tipo?
- ¿Los nanomateriales impactarán en el diseño de implantes?
- ¿Estos implantes serán inteligentes?
- ¿Será accesible a todo el mundo la nanomedicina o solo está reservada para los países ricos?
- ¿Hay muchos nanofármacos en el mercado?
- Los nanomateriales de diverso tipo ¿son dañinos para el medioambiente o las personas?
- ¿Son peligrosos todos o solo algunos? ¿Los efectos negativos dependerán de la concentración?
- ¿Qué efectos pueden tener en la salud?
- ¿Se pueden acumular en nuestro cuerpo?

- ¿Son más peligrosos para los trabajadores que los manipulan o para consumidores?
- ¿Los nanomateriales que generamos pueden acumularse en el medioambiente?
- ¿Qué se puede hacer para que la nanotecnología llegue a implantarse sin riesgos?

## Consejos generales

---

Se recomienda tener en cuenta las siguientes pautas:

- Realizar el trabajo intentando enfocarse en el tema propuesto evitando extenderse en otros temas que también tienen que ver con la nanotecnología.
- El trabajo debe centrarse en la conexión de la nanotecnología y la salud.
- El trabajo debe ser concreto, no muy largo, evitando introducciones a la nanotecnología demasiado largas.
- Como se puede ver el tema da mucho de sí por lo que es mejor concentrarse en algunos aspectos concretos (diagnóstico, terapia de ciertas enfermedades, cierta familia de implantes, etc.)
- Estructurar el trabajo en secciones y sub-secciones bien diferenciadas.
- Escribir con claridad, sin faltas de ortografía y una buena sintaxis.
- Evitar el plagio de otros trabajos o de páginas web. El “corta-pegar” no está permitido. Las frases que se usen literalmente deben ser entrecomilladas y su fuente tiene que ser citada convenientemente.
- Realizar una buena selección (no es necesario que sea muy larga) de referencias.
- Incluir fotos, gráficos o imágenes (citando su procedencia) solo si están relacionadas con el texto escrito.
- No incluir la batería de imágenes al final. Hay que procurar insertar cada imagen o foto en el sitio donde corresponda con su pie de figura.
- Si es posible, es recomendable incluir alguna actividad o experiencia de producción propia: encuestas y su análisis, entrevista a investigadores, descripción de visitas a laboratorio, experimentos realizados en el aula, etc.
- También es muy importante incluir reflexiones y opiniones propias (lo suficientemente razonadas) en el trabajo.

- En el documento debe quedar clara la autoría (a ser posible en la primera página, junto al título) y el colegio o instituto de procedencia.

## Referencias y materiales de apoyo

---

Antes de pasar a enumerar algunas referencias de posible utilidad, hay que mencionar que un buscador en internet encuentra decenas de millones de sitios relacionados con la nanotecnología. En éste como en otros temas lo que sobra es información y, por tanto, se debe ser cauto a la hora de seleccionar las fuentes de información más adecuadas, siendo esta fase de gran importancia para la correcta realización del trabajo de investigación. Las referencias que se muestran están relacionadas con la nanotecnología en general y se han añadido algunas relacionadas con el tema de la nanomedicina. La búsqueda de referencias más concretas sobre los temas planteados es parte del trabajo que debe desarrollar cada alumno participante. Estas referencias, junto con las que aparezcan en el foro, son tan solo el punto de partida de un largo camino que durará varios meses. ¡Buena suerte!

## Enlaces relacionados con el tema “Nanotecnología”

---

- Guías elaboradas en ediciones pasadas del Programa Investiga I+D+i para la temática de Nanotecnología, junto a algunas de las presentaciones efectuadas por los alumnos finalistas, se pueden descargar en:
  - <http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/Guiananociencia.pdf>
  - <http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/guias2011/GUIANANOTE CNOLOGIAPARALAALIMENTACIONYELCONSUMO.pdf>
  - [http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/guias2012/GUIA\\_NANO-ROBOTS.pdf](http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/guias2012/GUIA_NANO-ROBOTS.pdf)
  - <http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/nuevosmaterialesparaeld eporte.ppt>, <http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/PresentacionN anotecnologia.ppt>,
  - <http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/LINEA%204%20-%20NANO.ppt>

- [http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/guias2014-15/GUIA4\\_INTRODUCCION\\_NANOTECNOLOGIA-NANO\\_QUE\\_LLEVAMOS.pdf](http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/guias2014-15/GUIA4_INTRODUCCION_NANOTECNOLOGIA-NANO_QUE_LLEVAMOS.pdf)
- “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>
- Presentación de P.A. Serena sobre la nanotecnología (formato Power Point). Disponible en <http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/presentaciones2013-14/PresentacionNanotecnologia-AutorExpertoPedroSerena.ppt>
- Presentación de P.A. Serena sobre la nanotecnología (formato PDF). Disponible en [http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/presentaciones14\\_15/Pres entacionNanotecnologiametodologiasymaterialesparaelaula.PedroSerena.pdf](http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/presentaciones14_15/Pres entacionNanotecnologiametodologiasymaterialesparaelaula.PedroSerena.pdf)
- "¿Qué sabemos de la Nanotecnología?" (P. A. Serena, Editorial La Catarata y el CSIC, Madrid, 2010).
- “El nanomundo en tus manos” (J.A. Martín Gago, C. Briones, E. Casero y Pedro A. Serena, Colección Drakontos, Editorial Crítica, 2014).
- “La nanotecnología. Explorando un cosmos en miniatura”, A.J. ACOSTA JIMÉNEZ (RBA, Barcelona, 2016).
- "¿Qué sabemos de los riesgos de la Nanotecnología?" (M. Bermejo y P. A. Serena, Editorial La Catarata y el CSIC, Madrid, 2017).
- La Universidad Nacional de Educación a Distancia y el CSIC colaboran en la emisión de la serie de TV “¿Qué sabemos de la nanotecnología?”. Esta serie consta de 17 capítulos a los que se puede acceder mediante el enlace <https://canal.uned.es/serial/index/id/875>
- La Unión Europea ha puesto en marcha varias iniciativas relacionadas con la divulgación de la Nanotecnología. Una de las más importantes es NANOYOU, donde se pueden encontrar con recursos en inglés y en español para el profesorado y los alumnos de educación secundaria (<http://nanoyou.eu/>

- En la página web <http://www.nanotechproject.org/inventories/> hay un inventario de productos de la Nanotecnología (proyecto PEN) en el que ya se mencionan casi 2000 productos que contienen algún tipo de nanocomponente.
- Otro inventario de productos (más de 5000) en <http://product.statnano.com/>
- Y otro inventario más (más de 2000) en <http://nanodb.dk/>
- La belleza del nanomundo puede observarse en la galería de imágenes finalistas del concurso internacional SMPAGE, coorganizado por el CSIC y la Universidad Autónoma de Madrid (<http://www.icmm.csic.es/spmage> ). Estas galerías son de libre uso y pueden usarse para ilustrar trabajos o en clase.
- El diario “El Mundo” tiene una sección completa dedicada a la nanotecnología llena de noticias, artículos y entrevistas. <http://www.elmundo.es/elmundo/nanotecnologia.html>
- 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>).
- Iniciativa Nacional de Nanotecnología de los EE.UU. (NNI, <http://www.nano.gov/>)
- Nanotecnología en el Programa Horizonte 2020 de la Unión Europea ([http://ec.europa.eu/research/industrial\\_technologies/nanoscience-and-technologies\\_en.html](http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/nanoscience-and-technologies_en.html)).
- “WTEC Panel Report on Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020 Retrospective and Outlook”, September 30, 2010, Editors Mihail C. Roco, Chad A. Mirkin, Mark C. Hersam, WTEC, NSF, EE.UU. ([http://www.nano.gov/sites/default/files/pub\\_resource/wtec\\_nano2\\_report.pdf](http://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/wtec_nano2_report.pdf) )
- European Nanotechnology landscape report, ObservatoryNANO, 2010, [http://www.nanotec.it/public/wp-content/uploads/2014/04/ObservatoryNano\\_European\\_Nanotechnology\\_Landscape\\_Report.pdf](http://www.nanotec.it/public/wp-content/uploads/2014/04/ObservatoryNano_European_Nanotechnology_Landscape_Report.pdf)

Enlaces relacionados con el tema “Nanotecnología y Salud”.

- ALISIVIATOS, P. (2001): “Nanotecnia en medicina” en Investigación y Ciencia, 302:63-69.

- LECHUGA, L. (2006): “Nanobioteconología: avances diagnósticos y terapéuticos” en Revista Sistema Madri+d, 15:43-52.
- Página web de la Plataforma Española de Nanomedicina: <http://www.nanomedspain.net>
- Unión Europea. Plataforma Europea de Nanomedicina: <http://www.etp-nanomedicine.eu/public>
- Página web sobre nanomedicina del Instituto Nacional de la Salud de EE.UU.: <http://nihroadmap.nih.gov/nanomedicine/>
- INSHT (2015): Seguridad y Salud en el trabajo con Nanomateriales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), Madrid, España. Disponible en: <http://www.insht.es/>
- Unión Europea. Políticas sobre salud pública y nanotecnología: [http://ec.europa.eu/health/nanotechnology/policy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/health/nanotechnology/policy/index_en.htm)