

PROGRAMA IBERDROLA INNOVA I+D+i 2021/2022

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN Nanociencia, nanotecnología y nuevos materiales

GUÍA INTRODUCTORIA AL TEMA:

"El papel de la nanotecnología en la generación y uso sostenibles de la energía"

Dr. Pedro A. Serena Domingo
Investigador del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid
Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Resumen

El control de la materia a escala nanométrica, en la que nuevas propiedades emergen, supone una revolución en la forma de abordar diferentes problemas que tiene la humanidad en un momento en el que debe buscar con rapidez la forma en la que alcanzar un desarrollo sostenible. Uno de esos retos está relacionado con la generación, transformación, almacenamiento y uso de energía, de una manera eficiente y limpia, sostenible. En este tema los estudiantes deberán abordar cómo el uso de nanomateriales, nanodispositivos y técnicas de fabricación avanzadas ya impactan o lo van a hacer en diversos aspectos relacionados con la energía: nuevos sistemas de iluminación, la mejora de los paneles solares, las baterías de alta capacidad, el transporte de la electricidad desde los centros de producción a las ciudades, los sistemas de generación eólica, el uso de tecnologías del hidrógeno, las técnicas de "química verde", el diseño de catalizadores, o la construcción de edificios más eficientes.

1. Introducción.

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/>). Esta importancia se debe a que estas dos temáticas, íntimamente unidas, se han ido configurando como temas claves en la investigación en los países más desarrollados del mundo, tanto a nivel público como privado. Cabe mencionar que hace 20 años que en los EE.UU. se puso en marcha la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NNI, <http://www.nano.gov/>) que tiene como finalidad lograr que dicho país fuese líder mundial en la aplicación de la nanotecnología en diversos sectores. Por su parte, la Unión Europea ha considerado a la nanotecnología como un eje estratégico de

investigación desde el año 2007 hasta la fecha. Hay que mencionar que China, junto con otros países asiáticos como Japón y Corea del Sur, han emergido con gran fuerza en el panorama mundial de la investigación y en estos momentos lidera la producción científica en nanociencia y nanotecnología a la vez que aumenta su posición en el ranking de patentes.

Una característica de la nanotecnología es su **carácter transversal**, es decir que tiene aplicación en muchísimos sectores productivos, lo que ha permitido que en cada edición del Programa Investiga I+D+i se haya podido abordar un aspecto diferente: (i) la nanotecnología en general, (ii) la nanotecnología y su aplicación en los deportes, (iii) el impacto de la nanotecnología en agricultura, alimentación y cosmética, (iv) los nano-robots, (v) el fascinante y versátil grafeno, (vi) la nanotecnología para llevar puesta, (vii) la relación entre la nanotecnología y las ciudades inteligentes, (viii) la nanotecnología y el desarrollo sostenible, (ix) las aplicaciones médicas (nanomedicina), (x) las aplicaciones en el ámbito de la energía y el medioambiente, (xi) nanomáquinas y motores moleculares, y (xii) nanotecnología y medicina. Parece que los temas se van agotando, pero no es así, ya que aunque los temas se repitan, la ciencia avanza tan rápidamente que siempre hay cosas nuevas que contar en cada uno de ellos. En el curso 2021-2022 revisitamos el tema de la **aplicación de la nanotecnología a la energía**.

La nanotecnología tiene un **carácter multidisciplinar** que se configura a través de aportaciones de las diferentes disciplinas tradicionales (física, química, biología, medicina, ingeniería electrónica, ingeniería de materiales). Este carácter multidisciplinar es algo lógico ya que los elementos de trabajo básicos en nanotecnología son átomos, moléculas y nanoestructuras que son unidades básicas compartidas por todas las ramas del saber. La elección de la temática de cada año siempre supone un reto para los participantes: (i) por un lado estos se deben adentrarse en el fascinante mundo de la nanotecnología, identificando sus peculiaridades, y mostrando su enorme potencial para generar nuevos materiales y dispositivos; y (ii) por otro lado deberán converger, enfocarse, en la temática propuesta, que representa una pequeña parte de todo el universo nanotecnológico.

El trabajo que debe realizar el o la estudiantes es una ocasión para aprovechar la fascinación que produce lo diminuto para fomentar la curiosidad por la ciencia, aumentar los conocimientos sobre las tecnologías que se están comenzando a aplicar, y fomentar el espíritu crítico de los participantes, quienes serán los ciudadanos del futuro, todos como consumidores y usuarios, algunos como emprendedores y empresarios, otros como profesionales de la ciencia y la tecnología, y, los menos, quizás como gestores públicos o líderes políticos. En cualquier caso se espera que todos y todas acaben siendo “fans” de la ciencia y de la tecnología a lo largo de toda su vida.

En la segunda sección de este documento se repasan los principales aspectos que caracterizan a la nanotecnología. La tercera sección se dedica a esbozar varios aspectos del tema planteado en esta

edición del Programa Investiga I+D+i, que pueden utilizarse como punto de partida para hacer preguntas e intercambiar materiales en el Foro del Programa Investiga I+D+i. La cuarta sección proporciona unos consejos sobre la elaboración de los trabajos. Se termina el documento con un pequeño conjunto de referencias que pueden ser de utilidad para iniciar las investigaciones bibliográficas o en la web.

2. Nanociencia y Nanotecnología: aspectos generales.

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. Un nanómetro es una unidad de longitud realmente pequeña: un 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: $1 \text{ nm} = 10^{-3} \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ mm} = 10^{-9} \text{ m}$. ¡Un nanómetro equivale a la millonésima parte de un milímetro! Cuesta imaginarse estos tamaños. El prefijo “nano” (que procede del griego “nanos”, diminuto) se utiliza para referirse a las cosas muy, pero que muy, pequeñas. Un nanosiglo, por poner un ejemplo inesperado de medida del tiempo, es un intervalo equivalente a un poco más de tres segundos.

Por su parte la nanotecnología va más allá de la nanociencia, relacionada con el conocimiento más básico, y pretende convertir los conocimientos que esta nos aporta para diseñar materiales y dispositivos con propiedades mejoradas o totalmente nuevas, con los que mejorar bienes, productos o servicios e incluso proponer otros radicalmente revolucionarios. Por tanto, la nanotecnología tiene que ver esencialmente con la aplicación del conocimiento que surge de la nanociencia, pero las cosas no son blancas o negras, por lo que hay que decir que en los grupos de investigación por lo general se abordan estudios básicos en muchas ocasiones poniendo el ojo en una posible aplicación. La generación del conocimiento más básico se desarrolla fundamentalmente en universidades y centros de investigación, mientras que la aplicación del conocimiento se suele desarrollar en centros tecnológicos y empresas. Por cierto, esta generación del conocimiento requiere grandes inversiones (contratación de personas muy preparadas, instalaciones adecuadas, equipamientos de última generación, apoyo administrativo eficiente), que pueden retornar como beneficios socioeconómicos si dicho conocimiento se aprovecha, se pone en marcha, se moviliza. En muchas ocasiones, la comunidad científica siente consternación ante la llamada “fuga de cerebros” que refleja el desaprovechamiento de talento que se marcha para, en ocasiones, no regresar. En otras ocasiones son las trabas burocráticas, administrativas o financieras las que impiden que el conocimiento generado en universidades y organismos públicos de investigación no lleguen a convertirse en bienes y servicios, en suma, riqueza.

Muchas veces se piensa que la nanociencia y la nanotecnología son términos modernos o casi futuristas, con los que nos encontramos de bruce 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, uno de los investigadores más polifacéticos e interesantes del siglo XX, anticipó muchos de los conceptos y de los instrumentos que se manejan actualmente en esta fascinante disciplina. Sin embargo, es cierto que ha sido durante los últimos 20-30 años cuando la nanociencia y la nanotecnología han experimentado un espectacular impulso gracias a las inversiones efectuadas por parte de gobiernos, instituciones y empresas, que se han percatado de sus enormes posibilidades.

Como ya se ha mencionado antes 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/>) que invierte cada año, solo en ese país un promedio de más de 1200 millones de dólares. Con estas inversiones se han puesto en marcha nuevos laboratorios, se han formado científicos e ingenieros expertos en estas temáticas, se han realizado prototipos y demostradores, se ha llevado la nanotecnología a los colegios e institutos, se han realizado exposiciones, etc. Por cierto, 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 utilizará en este documento tanto para referirse a los aspectos básicos como más aplicados.

Volviendo a la nanoescala, que también suele denominarse nanomundo, nos damos cuenta que es un escenario “poblado” por diferentes tipos de nanoobjetos y nanoestructuras, muy diferentes tanto en composición como en forma. El nanomundo es tan rico y variado como el mundo macroscópico al que estamos habituados por lo que nos puede asustar tanta diversidad. Entre la “nanofauna” que puebla el nanomundo podemos incluir átomos, moléculas (algunas pequeñas pero otras muy grandes y complicadas), nanopartículas, materiales nanoporos, nanotubos de carbono, el grafeno, nanohilos metálicos y semiconductores, cadenas de ADN, liposomas, proteínas, ribosomas, dendritas, virus, etc. Esta “nanofauna” es interesante porque en algunas ocasiones manifiesta una serie de fenómenos que no se pondrían de manifiesto si su tamaño fuese mucho mayor. Por poner un ejemplo una fibra de carbono, que puede verse a simple vista, tiene unas buenas propiedades mecánicas, pero sus “hermanos pequeños”, los nanotubos de carbono tienen aún mejores propiedades. 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. Esa diferencia además aporta un elevado valor añadido, al que se le busca aplicación tecnológica.

¿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 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, menos del 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 superficie que volumen. Por lo tanto, a medida que un objeto se hace más pequeño la importancia de la superficie se hace mayor y las propiedades de las superficies se ponen más de manifiesto. Esta dependencia de las propiedades de un objeto de su tamaño, debido al aumento del cociente superficie / volumen a medida que se hace más pequeño, es un ejemplo de lo que se conoce como **efectos clásicos de tamaño**.

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. Podemos hablar de la Mecánica Cuántica como el manual de leyes y reglas que los científicos han escrito para entender cómo se comporta la naturaleza. Por cierto, este manual ya tiene un siglo prácticamente y es, hoy por hoy, el que se usa en ciencia porque funciona explicando el mundo en que vivimos y sirve para diseñar aparatos y productos que usamos de manera cotidiana. Estas reglas y leyes 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. No hay que alarmarse, ya que los participantes del Programa Investiga IDI no van a tener que estudiar los fundamentos de esta apasionante disciplina (sólo aquellos/as que más adelante estudien física, química, o ingeniería electrónica o de telecomunicaciones podrán profundizar en su fascinante conocimiento). Por ahora solo hay que saber que en los nanoobjetos aparecen una serie de **efectos cuánticos** que les proporcionan interesantes propiedades que no aparecen en micro o macroobjetos. 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 (niveles) 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. Obviamente esto es una propiedad fascinante que hay que estudiar, pero también es importante determinar si este fenómeno tiene aplicación. En este caso concreto las nanopartículas que proporcionan o absorben luz en un color concreto pueden usarse para fabricar marcadores en medicina, fabricar un láser, sintetizar un nuevo tinte, fabricar una crema protectora de la radiación solar o ser incorporados en los píxeles de una televisión de última generación. Esta es otra característica de la nanotecnología, la **versatilidad** del uso de algunos nanomateriales en contextos muy diferentes. Esta versatilidad se denomina transversalidad y horizontalidad de la nanotecnología.

Los efectos que se han mencionado anteriormente se denominan **efectos de tamaño** y resultan bastante perturbadores, ya que para cada composición, tamaño y forma que posee un determinado nanoobjeto se obtienen propiedades diferentes. Esto, que parece un problema o un auténtico descontrol, en realidad es la gran fuerza de la nanotecnología: si se controla la composición química, la estructura atómica, el tamaño y la forma de un nanoobjeto, se pueden a su vez controlar sus propiedades y entonces estaremos en condiciones de obtener un mayor provecho de ellas. La idea es fascinante. Por eso, el objetivo último de la nanotecnología es controlar, mediante metodologías físicas y químicas, la composición, 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, estos nanoobjetos pueden unirse entre sí, con las oportunidades y las limitaciones de las leyes físicas y químicas, para fabricar sistemas más complejos, con una mayor organización, capaces de hacer realizar múltiples funciones. En realidad los científicos y científicas tenemos ante nosotros el gran LEGO de la naturaleza, formado por átomos y moléculas, estudiamos el manual de instrucciones de la Mecánica Cuántica y, llenos de curiosidad, “jugamos” a unir las piezas para formar objetos que antes no existían y que pueden tener interesantes propiedades, que hay que entender para estimar si pueden o no aprovecharse.

Claro que para poder operar en el nanomundo, necesitamos unos sofisticados instrumentos, que funcionan como los “ojos” que nos permiten observar lo que ocurre en el mismo. Entre estos instrumentos podemos destacar 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.

Este año 2021, se cumplen precisamente 40 años desde el descubrimiento del STM por Heinrich Rohrer y Gerd Binnig en el Laboratorio de IBME en Zürich. Desde hace casi 30 años, el ser humano ya sabe cómo manipular los átomos, uno a uno, para realizar pequeñas estructuras artificiales. La nanotecnología se ha hecho mayor a nuestra vista y es lógico pensar que en algún momento madurará proporcionando los frutos que en el pasado solo eran propuestas imaginativas.

Es importante comentar que las estrategias de fabricación átomo a átomo, de manera manual, son muy bellas e impactantes pero no son fácilmente transferibles para la fabricación a gran escala de dispositivos o materiales, salvo que se automaticen, se hagan ultra-rápidas y sin perder precisión. Aún se está muy lejos de lograr esto. Esto es un ejemplo de que no todos los descubrimientos o desarrollos de la ciencia

básica se pueden transferir a la industria de buenas a primeras. Para hacernos una idea sobre cómo las ideas se convierten en productos, decir que por cada 10.000 artículos de investigación (conocimientos básicos), se registran unas 100 patentes (conocimientos protegidos), de los que llegan a las empresas una tercera parte, y de esta, la mitad se incorpora en algún producto. Además en muchos casos estas innovaciones duran solo unos pocos años, pues las empresas competidoras rediseñan sus productos con nuevas invenciones, lo que obliga a estar continuamente en esta carrera de la innovación.

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. Se puede decir que la nanotecnología es un ejemplo de fusión de disciplinas, de la llamada **convergencia tecnológica**, que se sigue fraguando día a día en los laboratorios de todo el mundo.

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 orgánulos que trabajan como **máquinas nanométricas**, funcionando casi 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, la química o la generación de energía.

Para terminar esta 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. Se dice que la nanotecnología es **transversal y ubicua**. La nanotecnología ya comienza a ser un gran negocio y se puede afirmar que el futuro será, en parte, “nano”. En la fecha en la que escribo este texto, hay más de 9300 productos comercializados en el mundo. Para echar un vistazo a este “nanomercado” se recomienda visitar la página de la iniciativa Statnano (<https://product.statnano.com/>).

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. 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 nosotros y para el medioambiente, 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. En los últimos años se está dando un gran impulso a los proyectos relacionados con la **nano-eco-toxicidad**, con el fin de determinar si un determinado nanomaterial es perjudicial, cómo depende esa toxicidad del tamaño, forma, y otras muchas variables, cómo penetra en el cuerpo, cómo se distribuye, cómo se metaboliza, el daño a nivel celular o del ADN, estimar los valores máximos que podrían ser tolerables, si interaccionan negativa o positivamente con otras sustancias, etc, etc. No es una tarea fácil

Es muy importante estar informados de los pros y los contras de cada tecnología (sea “macro” o “nano”) para que, como ciudadanos formados y con espíritu crítico, podamos conocer las repercusiones de todo tipo que los nanoproductos puedan tener, y así actuar exigiendo que haya normativa y reglamentación adecuadas que garanticen una fabricación, una comercialización, un consumo, un reciclado seguros tanto para las personas como para el medioambiente, y exigir también la vigilancia del cumplimiento de dichas normas.

3. Las aplicaciones de la nanotecnología en el ámbito de la energía.

3.1 De las fuentes no renovables a las renovables.

Desde el neolítico, los hombres han desarrollado tecnologías que se aplican en la fabricación de materiales y productos que nos permiten tener mejor alimentación, mejor salud, mayor capacidad de transporte, ciudades con más servicios, etc. Muchas de estas tecnologías comenzaron, sin embargo, cuando el ser humano pudo dominar el fuego, la primera fuente de energía gestionada de manera voluntaria por los hombres. Sin el acceso a la energía no podríamos mantener la sociedad que ahora hemos configurado. En un principio la energía se gestiona transformando la energía química que almacena en la leña en energía calorífica que permite calentar cosas o evaporar agua, también se usaban algunos grasas o aceites naturales y aceites minerales, más tarde se comenzó a usar la energía almacenada en el subsuelo bajo forma de carbón o de petróleo, también se aprovechó la energía potencial que almacena el agua en embalses, y el siglo XX vio la aparición de la energía atómica. A finales del siglo XX e inicios del siglo XXI se ha comenzado a usar otras fuentes de energía, llamadas renovables, que minimizan el impacto medioambiental pues minimizan la emisión de CO₂ y otros gases nocivos que va asociada a los procesos de combustión.

Si bien la combustión masiva de carbón y derivados del petróleo ha sido clave para el desarrollo de nuestras sociedades desde el siglo XVIII, ha generado problemas como el aumento de los niveles de CO₂, claramente vinculados al aumento de la temperaturas en todo el planeta, el aumento de fenómenos

meteorológicos extremos, y el innegable cambio climático. El bienestar generado por el acceso a las fuentes de energía ha hecho posible el aumento exponencial de la población en estos últimos 150 años, aumentando la necesidad de producción de alimentos, la conversión de bosques en terrenos cultivables, la construcción de más y más asentamientos humanos, de carreteras que los conectan, de infraestructuras para transportar energía o señales para comunicarnos...El impacto del ser humano en el medioambiente es más que evidente.

A principios de los años 80 se necesitaba hacer una reflexión profunda sobre el modelo de desarrollo basado en el consumo sin límites y la explotación extrema de recursos naturales, hacia dónde nos llevaba, y si había alternativas. Esta reflexión dio lugar, en 1987, a un informe que fue elaborado por una comisión de expertos de diferentes nacionalidades para la ONU. Dicha comisión estaba encabezada por la doctora de origen noruego G.H. Brundtland. El informe se llamó originalmente “Nuestro Futuro Común” (“Our Common Future”) aunque se conoce de forma más coloquial como “Informe Brundtland” y en sus páginas se utilizó por primera vez el término “Desarrollo Sostenible”, definido como aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones. Este informe propone un modelo de desarrollo sostenible basado en una serie de premisas: (i) La conservación de nuestro planeta no poniendo en peligro los ecosistemas, la flora y fauna, que en él se encuentran; (ii) El desarrollo apropiado que no afecte sustantivamente los ecosistemas; (iii) La renuncia a los niveles de consumo excesivos y que no están al alcance de todos los individuos; (iv) Lograr el crecimiento económico de los países pobres; (v) Establecer un control demográfico, referido principalmente a las tasas de natalidad; (vi) Usar los recursos no renovables de la forma más eficiente posible; (vii) Paz, igualdad, y respeto hacia los derechos humanos; y (viii) Democracia.

En el año 2000, la ONU adoptó los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), que fueron la iniciativa con la que defender los principios de dignidad humana, igualdad y equidad, y de liberar al mundo de la pobreza extrema, que son parte de un Desarrollo Sostenible. El año 2015 se demostró que no se había logrado alcanzar todas las metas propuestas en los ODM, pero la ONU no cejó su empeño y en septiembre de 2015 se aprobó la Agenda 2030 con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que deben alcanzarse en el periodo 2015-2030. Los ODS pretenden, al igual que los ODM, acabar con la pobreza, combatir la desigualdad y luchar contra el cambio climático para los próximos 15 años, con el fin de lograr una vida digna para todos sin que nadie se quede atrás.

La lista de los ODS es larga pero, en concreto, el Objetivo 7 pretende “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos”. Está claro que se trata de un objetivo muy ambicioso y que se espera que todos los gobiernos y organizaciones, junto con todos los habitantes del planeta, se impliquen (nos impliquemos) en su consecución. La ciencia y la tecnología tienen una importancia evidente en esta tarea, pero ¿qué papel puede jugar la nanotecnología en la misma?

Precisamente esto es lo que tiene que averiguar el participante en este certamen, aunque a continuación se dan algunas pistas.

3.2 El papel de la nanotecnología en la generación, transporte, almacenamiento y uso de la energía de forma sostenible.

A continuación vamos a describir brevemente algunos ámbitos en los que la nanotecnología está presente bien en la generación, en el transporte, en el almacenamiento o en el uso de la energía de una manera sostenible. Evidentemente, además de los estos ámbitos, los participantes pueden plantear otros siempre que estén relacionados con la temática propuesta.

3.2.1 Ahorro energético

Una primera estrategia consiste en buscar la forma de satisfacer nuestras necesidades con un menor consumo energético. Esto se ha conseguido en el ámbito de la iluminación gracias a la implantación del diodo de emisión láser o LED (siglas del término inglés Laser Emitting Diode), un dispositivo emisor de luz fabricado con métodos y conceptos propios de la nanotecnología. El ahorro energético también está llegando a otros sectores como el de la automoción, pues es posible reducir considerablemente el consumo de combustible y la emisión de gases nocivos mediante el aligeramiento de las carrocerías usando materiales nanohíbridos, mejorando los lubricantes con nanopartículas, introduciendo nanosensores en los sistemas de gestión electrónica, y utilizando sofisticados convertidores catalíticos que contienen nanopartículas de diversos materiales.

3.2.2 Enterramiento de CO₂, biocombustibles y fotosíntesis artificial

Mientras se produce la transición hacia la implantación de las energías renovables se deben desarrollar otras estrategias de mitigación para intentar capturar la mayor cantidad posible de CO₂ con el fin de almacenarlo y quitarlo de la circulación (atmosférica). Una alternativa puesta sobre la mesa es la del enterramiento de CO₂, en lugares y condiciones adecuadas a miles de metros de profundidad. Esto es una tarea muy compleja, pues requiere costosas instalaciones. Desde la nanotecnología se ha propuesto el uso de diferentes nanomateriales porosos para optimizar los sistemas de captación y almacenamiento de las moléculas de CO₂ aumentando la capacidad de los depósitos subterráneos. Otra forma de hacer desaparecer el CO₂ es usando dispositivos, como los basados en materiales que contienen nanopartículas de metales de transición que son capaces de catalizar ciertas reacciones que transforman el CO₂ en sustancias orgánicas de diverso tipo, incluidos los biocombustibles.

Otra solución más interesante se logra mediante la fotosíntesis artificial basada en la capacidad de ciertos materiales y dispositivos para transformar el CO₂ en otras sustancias mediante acción directa de la energía solar, de la misma manera que las células vegetales realizan la fotosíntesis gracias a la clorofila.

En el año 2011 se desarrolló la primera hoja artificial fabricada a partir de silicio, níquel, cobalto y otros catalizadores, que lograba descomponer el agua en oxígeno e hidrógeno. Una década después hay muchos prototipos de hojas artificiales con sofisticadas combinaciones de nanomateriales semiconductores que, a partir de agua, CO₂ y luz solar, producen oxígeno y otras sustancias orgánicas.

3.2.3 Energía eólica

La energía eólica es la fuente de energía renovable que más auge ha experimentado en las tres últimas décadas. Los aerogeneradores han ido aumentando de tamaño con el fin de poder incrementar su potencia, lo que requiere diseños y materiales cada vez más sofisticados. El uso de materiales compuestos (composites) basados en polímeros y nanotubos de carbono o grafeno facilitará la construcción de descomunales aerogeneradores capaces de soportar las condiciones extremas que se dan en crestas montañosas o la elevada salinidad en el caso de las instalaciones en o cerca del mar.

3.2.4 Energía solar de concentración y fotovoltaica

Otra fuente de energía renovable es la energía solar de concentración, generada en centrales termosolares, que se obtiene al aprovechar la radiación que nos llega del sol, concentrando mediante espejos la energía recibida sobre circuitos de agua, para crear vapor con el que mover turbinas y generar electricidad. Esta aproximación requiere materiales que soporten bien altas temperaturas o las condiciones ambientales de operación y, claro está, que la nanotecnología tiene mucho que decir cuando se habla de materiales.

Por su parte, la tecnología fotovoltaica utiliza paneles solares formados por celdas o células solares que convierten directamente la luz procedente del sol en energía eléctrica aprovechando el efecto fotoeléctrico, que consiste esencialmente en la emisión de electrones por un material cuando este es iluminado. Las células solares emplean materiales semiconductores que logran la conversión parcial de la energía de la luz (empaquetada en los famosos fotones) en corriente eléctrica. Las celdas solares se caracterizan por un parámetro denominado eficiencia máxima, que indica la fracción de la potencia energética de la luz solar que se puede convertir en potencia eléctrica. La gran mayoría de las células fotovoltaicas que se utilizan actualmente se basan en el abundante silicio. Además del silicio existen muchos tipos de materiales con altas eficiencias pero de mayor coste. Las técnicas empleadas en la fabricación de las células solares son análogas a las usadas en la nanoelectrónica, por lo que la energía fotovoltaica tiene mucho que ver con la nanotecnología.

3.2.5 Almacenamiento energético: batería y supercondensadores

Una adecuada gestión de la energía eléctrica ha de tener en cuenta también su almacenamiento para facilitar su posterior uso. En cuanto al almacenamiento de energía destinada a su uso en teléfonos móviles, equipos portátiles, sistemas de alimentación ininterrumpida y vehículos eléctricos es indudable

que las baterías siguen siendo un elemento imprescindible. Las baterías de ion-litio, la tecnología predominante, están siendo mejoradas gracias a la incorporación de nanotubos de carbono, nanohilos de diversos materiales, o nanopartículas metálicas en los electrodos. También se investiga en baterías basadas en iones de sodio, potasio, zinc o aluminio, elementos más abundantes y baratos que el litio. El almacenamiento de energía eléctrica también tiene otros protagonistas como los dispositivos supercondensadores, sistemas que guardan una razonable cantidad de carga eléctrica para su rápida liberación en situaciones que requieran una gran potencia.

3.2.6 Hidrógeno y pilas de combustible

Una interesante forma de gestionar el almacenamiento y la utilización de energía consiste en usar el hidrógeno molecular (H₂) como vector energético. La producción y el almacenamiento de hidrógeno pueden mejorarse gracias al uso de nanomateriales. Para alcanzar una síntesis más eficiente de hidrógeno se han propuesto diversos procesos donde intervienen catalizadores con nanopartículas de rutenio y platino así como superficies nanoestructuradas de iridio, óxido de cerio u óxido de titanio. En cuanto al almacenamiento de hidrógeno se ha planteado usar depósitos compactos formados por materiales nanoporosos o nanotubos de carbono que contendrían en su interior las moléculas de hidrógeno, con el fin de evitar explosiones en caso de accidentes. En lo relativo a su utilización, la manera más eficiente de aprovechar su poder mediante una pila o celda de combustible, un dispositivo de tipo electroquímico, pariente cercano de las baterías. En estos dispositivos el hidrógeno se recombina con el oxígeno de forma controlada, generando una corriente eléctrica y agua como residuo. El uso de nanomateriales en los electrodos permite aumentar la eficiencia de los procesos electroquímicos y del transporte de electrones.

3.2.7 Otras formas de generación de electricidad

Son muchas las propuestas para generar electricidad que están en estudio como el desarrollo de nanomateriales termoeléctricos y piezoeléctricos, que permiten recuperar parte de la energía habitualmente desperdiciada por muchos dispositivos en forma de calor y vibraciones mecánicas, respectivamente. No hay que olvidar los materiales triboeléctricos que permiten fabricar nanodispositivos que generan electricidad a partir de la fricción, ni los materiales superconductores nanoestructurados con los que se pueden fabricar cables que evitan pérdidas de energía durante el transporte de la electricidad o con los que hacer bobinas que mejoren las prestaciones de motores y generadores eléctricos.

3.3 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 de su aplicación. 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 de la vida útil de los mismos o una vez que éstos hayan sido desechados. 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. Además de los riesgos de tipo toxicológico, se deben tener en cuenta los aspectos éticos, ya que estas tecnologías pueden crear situaciones que requiere una adecuada toma de decisiones como el aumento de la división social, el aumento de la esperanza de vida solo en países más ricos, la creación de sofisticado armamento, etc. Sin duda es un tema sobre el que se debe reflexionar y buscar un acuerdo para sentar unas bases de una **nanobioética** colectiva.

4. 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. Numerad las secciones y subsecciones (¡y las páginas!).
- Cuidad 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-pega” 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 entrecorilladas y su fuente tiene que ser citada convenientemente.

- 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.

5. 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 con páginas de empresas, universidades, periódicos, organismos públicos, bloggers, youtubers, revistas científicas, etc, etc. En éste como en otros temas lo que sobra seguramente es información y, por tanto, se debe ser cauto a la hora de seleccionar las fuentes de información más adecuadas, rigurosas, avaladas por la ciencia, y libres de sensacionalismos o de conclusiones infundadas. En muchas ocasiones los temas científicos se distorsionan y dan pie a bulos, teorías conspiratorias, o estafas. La búsqueda de referencias veraces y útiles sobre los temas planteados es parte del trabajo que debe desarrollar cada participante con el apoyo de su profesor/a.

Las referencias que se muestran a continuación son de dos tipos, por un lado aquellas que están relacionadas con la nanotecnología en general y por otro se han añadido algunas relacionadas con el tema propuesto en esta edición. Estas referencias son tan solo el punto de partida de un largo y espero que interesante camino que durará varios meses.

5.1 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
- "La Nanotecnología" (P. A. Serena, Colección "Qué sabemos de...", 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).
- "Los Riesgos de la Nanotecnología" (M. Bermejo y P. A. Serena, Colección "Qué sabemos de...", Editorial La Catarata y el CSIC, Madrid, 2017).
- "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 10almenos9 (<https://10almenos9.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 9300 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.

5.2 Referencias y enlaces relacionados con el tema propuesto

- ONU, Objetivos de desarrollo sostenible (2016–2030). Enlace en <http://www.un.org/es/millenniumgoals/beyond2015-news.shtml>
- Nanotecnología en el Programa Horizonte 2020 de la Unión Europea (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). En este informe se señala el impacto de la nanotecnología tema a tema. Puede ser una buena guía para que el profesor oriente a los alumnos.
- European Nanotechnology landscape report, ObservatoryNANO, 2010 (http://www.nanotec.it/public/wp-content/uploads/2014/04/ObservatoryNano_European_Nanotechnolo

[gy_Landscape_Report.pdf](#)). En este informe se muestran muchas aplicaciones del tema “nano” en energía. Puede ser una buena guía para que el profesor oriente a los alumnos.

- “Un planeta en busca de energía” (Pedro Gómez Romero, Editorial Síntesis, 2007).
- <http://www.cienciateca.com/> (Web con bastantes artículos de divulgación sobre el tema de la energía y de la nanotecnología).
- “De los nanómetros a los teravatios. Aplicaciones energéticas de la nanociencia” (Pedro Gómez Romero). *Mètode* 65:75-79 (2010)
<https://metode.es/revistas-metode/monograficos/de-los-nanometros-a-los-teravatios.html>
- “Nanotecnología y Energía” (National Nanotechnology Initiative – NNI, 2014, folleto en español dirigido a jóvenes)
https://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/nano_energy_brochure_spanish_for_web_jan_28_2014.pdf
- “Nanoenergía” (Pedro Gómez Romero). Clase del curso “Todo-Nano”.
<https://10alamos9.es/todonano/>
- “Nanotecnología para el Desarrollo Sostenible” (P. A. Serena). Clase del curso “Todo-Nano”.
<https://10alamos9.es/todonano/>

5.3 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, artículo, patentes, productos
<https://nanodata.echa.europa.eu/index.php>

5.4 Guías y presentaciones correspondientes a ediciones pasadas del Programa Investiga IDI en la temática de Nanotecnología.

- <http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/Guiananociencia.pdf>
- <http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/guias2011/GUIANANOTECNOLOGIAPARALAALIMENTACIONYELCONSUMO.pdf>
- <https://www.programainvestiga.org/pdf/guias2011/GUIANANOTECNOLOGIAPARALAALIMENTACIONYELCONSUMO.pdf>

- https://www.programainvestiga.org/pdf/guias2012/GUIA_NANO-ROBOTS.pdf
- <https://www.programainvestiga.org/pdf/guias2013-14/LINEA%204%20%20EL%20GRAFENO.pdf>
- <http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/nuevosmaterialesparaeldeporte.ppt>
- <http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/PresentacionNanotecnologia.ppt>
- http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/guias2014-15/GUIA4_INTRODUCCION_NANOTECNOLOGIA-NANO_QUE_LLEVAMOS.pdf
- <https://www.programainvestiga.org/pdf/guias2016-17/Guia%20introdutoria%20al%20tema%20Nanotecnologia%20ante%20los%20retos%20del%20desarrollo%20sostenible.pdf>
- <https://www.programainvestiga.org/pdf/guias2017-18/Guiaintrodutoriaaltemanantecnologiaysalud.pdf>
- <http://www.programainvestiga.org/pdf/guias2018-19/GUIANANOTECNOLOGIAPARARETOSENERGETICOS.pdf>
- <https://www.programainvestiga.org/pdf/guias2019-20/Guiaintrodutoriaaltemamotoresmolecularesynanomaquinas.pdf>
- https://www.programainvestiga.org/pdf/guias2020-21/Gu%C3%ADa%20introdutoria%20al%20tema%20_Motores%20Moleculares%20y%20Nanom%C3%A1quinas%E2%80%9D.pdf
- <https://www.programainvestiga.org/pdf/guias2020-21/NANOTECNOLOGIA.pdf>