



## **INVESTIGA I+D+i 2016/2017**

### **GUÍA ESPECÍFICA DE TRABAJO SOBRE “La Nanotecnología ante los retos del desarrollo sostenible”**

**Texto del Dr. Pedro Amalio Serena**

**Octubre de 2016**

## 1. Introducción

---

La nanociencia, la nanotecnología y los nuevos materiales han sido considerados, de forma conjunta, una de las cinco líneas estratégicas de las anteriores ediciones del Programa Investiga IDI (<http://www.programainvestiga.org/>). Esta elección se debe a que estas temáticas se han ido configurando como temas claves en la investigación de los países más desarrollados del mundo. Por poner un par de ejemplos, en los EE.UU. ya hace 16 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 diversos sectores, mientras que 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 de la Unión Europea. Mencionaremos también que China ha emergido con gran fuerza en el panorama mundial de la investigación y en estos momentos lidera la producción científica en estas temáticas a la vez que aumenta su posición en el ámbito de las patentes. Una característica de la nanotecnología es su carácter transversal, es decir que tiene aplicación en muchísimos sectores, lo que ha permitido que en cada edición del Programa Investiga I+D+I se haya podido abordar un aspecto diferente: la nanotecnología en general, la nanotecnología y su aplicación en los deportes, el impacto de la nanotecnología en agricultura, alimentación y cosmética, los nanorobots, el fascinante y versátil grafeno, la nanotecnología para llevar puesta, y finalmente la relación entre la nanotecnología y la implantación de las ciudades inteligentes. Este documento propone un aspecto de la nanotecnología que permite extender o completar las temáticas que se han ido tratando en las anteriores ediciones: “la nanotecnología y el desarrollo sostenible”. Tanto la nanotecnología como el desarrollo sostenible son temáticas de una gran amplitud, multidisciplinarias, y por lo tanto es evidente que se van a encontrar muchos puntos de encuentro entre ambas. El trabajo que presentarán los alumnos deberá realizar un análisis de estos puntos de encuentro, seleccionando unos pocos que se pueden abordar con más profundidad.

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 y dispositivos que pueden ayudar al desarrollo social y económico de aquellos países menos desarrollados. Además, otro objetivo de igual importancia es hacer ver a los estudiantes 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 decidir sobre la forma en que deben usarse, 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.

En resumen, se trata 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 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 el 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 el del desarrollo sostenible.

## 2. 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 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 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 la 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 superficie que 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.

### 3. El desarrollo sostenible: un camino obligado que debemos emprender ahora mismo

---

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. Sin embargo, en la década de los años 1970, grupos ecologistas, asociaciones ciudadanas, científicos y políticos empezaron a darse cuenta de que la forma en la que estaba creciendo eran causantes de un impacto creciente sobre los ecosistemas, dando lugar a la pérdida de biodiversidad. Muchos anticipaban que, de seguir así, los efectos sobre el planeta al final tendrían devastadoras consecuencias sobre la propia especie humana. Por otro lado, una gran cantidad de países, que no tenían el nivel de desarrollo de EE.UU., Canadá, Japón, Alemania, Francia, Reino Unido, etc., veían su senda de desarrollo como aquella que era necesario emprender para mejorar la vida de sus ciudadanos. Si EE.UU., Alemania o Japón habían crecido sobre un modelo basado en el enorme consumo de recursos naturales ¿por qué razón no iban a poder hacerlo los demás? Evidentemente, estas ansias por alcanzar niveles de desarrollo que fuesen los más altos posibles acelerarían el deterioro del planeta a pasos agigantados.

A principios de los años 80 se necesitaba hacer una reflexión concienzuda sobre el modelo de desarrollo, 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 G.H. Brundtland, por aquel entonces primera ministra de Noruega. El informe se llamó originalmente “Nuestro Futuro Común” (“Our Common Future”). Este informe, sin embargo, ha pasado a conocerse de forma más coloquial como Informe Brundtland. En este informe, se utilizó por primera vez el término “Desarrollo Sostenible” (en otras ocasiones se habla de desarrollo sustentable), definido como aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones. El Informe Brundtland analiza, critica y replantea las políticas de desarrollo propias de la economía globalizada, que aunque proporcionan un avance social amplio, tienen un impacto medioambiental muy alto.

¿Qué supone el desarrollo sostenible como alternativa al desarrollo basado en la economía globalizada? El desarrollo sostenible tiene tres áreas: ecológica, económica, y social. La consecución del desarrollo sostenible debería hacerse sobre una serie de premisas:

- La conservación de nuestro planeta no poniendo en peligro los ecosistemas, la flora y fauna, que en él se encuentran.
- Desarrollo apropiado que no afecte sustantivamente los ecosistemas.
- Renunciar a los niveles de consumo excesivos y que no están al alcance de todos los individuos.
- Lograr el crecimiento económico de los países pobres.
- Establecer un control demográfico, referido principalmente a las tasas de natalidad.
- Usar los recursos no renovables de la forma más eficiente posible.
- Paz, igualdad, y respeto hacia los derechos humanos.
- Democracia.

En 1992 se llevó a cabo la Conferencia Sobre Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro. En dicha conferencia se proclama la “Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo”, que profundizó y aclaró el concepto de desarrollo sostenible. Durante la década de los 1990 se maduraron las propuestas que tendrían que dar impulso a todas las ideas que hay detrás del concepto de Desarrollo Sostenible. 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 Desarrollo Sostenible. En total se definieron ocho ODM, con una serie de metas, de indicadores medibles para alcanzar en unos plazos definidos. El año 2015, fecha de

evaluar si los ODM se habían cumplido, se demostró que no se había logrado alcanzar todas las metas propuestas:

1. Erradicar la pobreza extrema y el hambre. En 1990, casi la mitad de la población de las regiones en desarrollo vivía con menos de 1,25 dólares al día: la pobreza extrema se redujo a la mitad cinco años antes de 2015.
2. Lograr la enseñanza primaria universal. En 2012, 1 de cada 10 niños en edad de recibir educación primaria no asistía a la escuela.
3. Promover la igualdad entre los géneros y la autonomía de la mujer. En 2012, todas las regiones en desarrollo alcanzaron, o estaban próximas a alcanzar, la paridad de género en educación primaria. La disparidad de género aumenta en la educación secundaria.
4. Reducir la mortalidad infantil. En las últimas dos décadas, la probabilidad de que un niño muriera antes de cumplir los 5 años se ha reducido casi a la mitad.
5. Mejorar la salud materna. Entre 1990 y 2013, la tasa mundial de mortalidad materna cayó un 45%.
6. Combatir el HIV/SIDA, el paludismo y otras enfermedades. Hoy en día, sólo el 30% de las personas con VIH en los países en desarrollo recibe tratamiento con antirretrovirales. Se está cerca de alcanzar la meta contra el paludismo, y parece posible detener la propagación de la tuberculosis.
7. Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. Desde 1990 las emisiones de gases de efecto invernadero aumentaron casi un 50% aunque las sustancias que reducen la capa de ozono se han eliminado prácticamente en todo el mundo.
8. Fomentar una asociación global para el desarrollo. La asistencia oficial para el desarrollo supuso la cantidad más alta jamás aportada para esta finalidad en 2013 (134.800 millones de dólares) pero la gran mayoría de los países no llegan al 0,7% de su PIB en ayudas para el desarrollo y la cooperación.

Ante la realidad de no haberse satisfecho al 100% las metas de los ODM, la ONU no cejó su empeño y en septiembre de 2015, representantes de 193 países adoptaron un compromiso histórico al aprobar los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que, a diferencia de sus predecesores, fueron consensuados después de más de 3 años de negociaciones, entre los representantes de todos los países miembros de la ONU, Organizaciones No Gubernamentales, y otros agentes sociales. La nueva estrategia debe desarrollarse entre 2016 y 2030. En líneas generales, 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 larga lista de los ODS es:

- Objetivo 1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
- Objetivo 2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.
- Objetivo 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.
- Objetivo 4. Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.
- Objetivo 5. Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas; eliminando todas las formas de violencia contra todas las mujeres y las niñas en los ámbitos público y privado, incluidas la trata y la explotación sexual.
- Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
- Objetivo 7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.
- Objetivo 8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.
- Objetivo 9. Construir infraestructuras duraderas, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, con especial hincapié en el acceso equitativo y asequible para todos.
- Objetivo 10. Reducir la desigualdad en y entre los países; logrando progresivamente y mantener el crecimiento de los ingresos del 40% más pobre de la población a una tasa superior a la media nacional.
- Objetivo 11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, duraderos y sostenibles.
- Objetivo 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles para reducir a la mitad el desperdicio mundial de alimentos per cápita en el año 2030.
- Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes contra el cambio climático mediante la educación y sensibilización de las personas y la negociación de acuerdos y medidas nacionales e internacionales para actuar todos juntos contra el cambio climático; minimizando su impacto en la vida de las personas.
- Objetivo 14. Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos y mares.
- Objetivo 15. Proteger los bosques y luchar contra la desertificación, creando leyes para preservar los ecosistemas a nivel mundial, reduciendo la degradación ambiental y conservando la diversidad biológica.

- Objetivo 16. Promover sociedades pacíficas y mejor acceso a la justicia.
- Objetivo 17. Fortalecer y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

Bien, ni que decir tiene que son uno objetivos muy ambiciosos y que se espera que todos los gobiernos y todos los habitantes del planeta nos impliquemos en su consecución. Los estudiantes de esta edición del certamen Investiga I+D+I participan en ella el año de puesta en marcha de los ODS y van a tener la oportunidad durante 15 años de ser parte de esta larga aventura.

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

---

A estas alturas ya conocemos los objetivos bienintencionados de la ONU pero hay que ponerlos en marcha. Muchos de estos objetivos pasan por la mejora de la tecnología y de la organización social, de forma que el medio ambiente pueda recuperarse al mismo ritmo que es afectado por la actividad humana, evitando un déficit de recursos naturales, muchos de ellos no renovables. ¿Qué tiene que decir la nanotecnología en todo esto? Hemos visto que la nanotecnología, de carácter transversal y multidisciplinar, proporciona soluciones en la práctica totalidad de sectores económicos: salud, energía, automóvil, espacio, alimentación, cosmética, seguridad, agricultura, etc. La nanotecnología, que se vislumbra como la impulsora de una nueva revolución, se potenciará aún más cuando entre en convergencia con la biotecnología, las tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC), y los avances en neurociencias. Sin embargo, la nanotecnología no tiene una aplicación directa sino a través de los materiales y dispositivos que se van a emplear, a su vez, para sectores como la electrónica, las comunicaciones, la construcción, la energía, etc. Como se ha dicho antes, la nanotecnología es una tecnología transversal, que se aplica en muchos sectores y que estará “oculta” en muchos materiales y dispositivos, que tendrán aplicaciones sorprendentes.

Es evidente que el ámbito de aplicaciones de lo “nano” es muy extenso y que se requiere poner el foco en algunas de las aplicaciones o en algunos de los nanomateriales que son protagonistas de la nanotecnología. En esta edición del Programa Investiga I+D+I se ha elegido el tema de la aplicación de la nanotecnología en el ámbito de los Objetivos del Desarrollo Sostenible. A la vista de lo expuesto en la sección anterior es evidente que la nanotecnología tiene mucho que decir en este tema, en particular en los ODS 2, 3, 6, 7, 9, 11 y 12.

Los trabajos que deben desarrollar los participantes de esta edición del Programa Investiga I+D+I deben basarse en indagaciones y consultas en artículos de investigación, artículos de prensa, cientos de páginas web, blogs, etc. y otro tipo de documentos que tratan sobre cómo la nanotecnología puede ayudar al desarrollo de los ODS. Los trabajos deben tratar aspectos que permitan responder a algunas de las preguntas (no a todas, que es imposible en un trabajo) que se plantean en esta lista:

- ¿Qué tipo de nanomateriales o nanodispositivos se van a usar en medicina para atacar ciertas enfermedades que aún se dan en los países más pobres?
- ¿Qué tipo de nanomateriales o nanodispositivos se van a usar en agricultura y alimentación para lograr mejores cosechas, más variedad en la nutrición, mejor procesado de los alimentos?
- ¿Qué tipo de nanomateriales o nanodispositivos se van a emplear en la sustitución de los combustibles fósiles para dar paso al uso extensivo de las energías renovables?
- ¿Cómo pueden usarse las nanotecnologías para garantizar el acceso a agua potable en aquellos sitios en los que ahora hay dificultades para encontrarla? ¿Cómo se usará la nanotecnología para la depuración de contaminantes tanto en agua como en atmósfera?
- ¿La nanotecnología permitirá construir casas y ciudades más inteligentes y duraderas?
- ¿Cómo afectará la nanotecnología en el desarrollo de transportes más ecológicos y menos contaminantes?
- ¿Las nanotecnologías pueden ayudar al desarrollo de nuevos ordenadores y sistemas de comunicación que permitan mejorar la enseñanza en zonas rurales, el acceso a la información a todos los ciudadanos, la implantación de sistemas de gestión más eficientes, etc.?
- ¿Se podrán sustituir sistemas de producción actuales (basados en el uso de materias primas escasas, grandes cantidades de energía, y emisores de contaminantes) por otros menos agresivos para el medioambiente, con ayuda de la nanotecnología?
- ¿Las nanotecnologías pueden ser baratas y por tanto accesibles a muchos países o por el contrario van a estar en manos solo de los países más ricos que controlarán, por tanto, su aplicación a los ODS de una manera interesada?
- La producción en masa y uso de nanomateriales (como los nanotubos de carbono o el grafeno) ¿va a ser causa de problemas medioambientales que agraven la situación actual?

El reto que tienen ante sí los estudiantes y los profesores de esta edición es grande, pues hay que realizar un esfuerzo por conectar temas e ideas aparentemente muy distantes (lo “nano” y el futuro de la humanidad), pero que la ciencia y la tecnología se encargan de acercar. En este caso, más que nunca, se trata de ver como la nanotecnología aborda Retos Sociales (por cierto, el nombre de una de las líneas de actuación de la Unión Europea en su programa Horizonte 2020). Evidentemente, además de los anteriores aspectos, los participantes se plantearán nuevas preguntas y nuevas respuestas, que proporcionarán un gran valor añadido y originalidad a sus trabajos.

## 5. Consejos generales

---

Para facilitar la vida al experto que supervisará el trabajo se recomienda tener en cuenta las siguientes pautas:

- Realizar el trabajo intentando enfocarse en el tema propuesto evitando extenderse en otros temas como las aplicaciones de la nanotecnología en medicina, en deporte, etc.
- El trabajo debe centrarse en la conexión de la nanotecnología y algunos de los Objetivos del Desarrollo Sostenible.
- El trabajo debe ser concreto, no muy largo, evitando introducciones a la nanotecnología demasiado largas.
- 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-pega” 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 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, visita a laboratorio, experimento en el aula, etc.
- También es muy importante incluir reflexiones y opiniones propias (razonadas) en el trabajo.
- En el documento debe quedar clara la autoría y el colegio o instituto de procedencia.

## 6. 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 del desarrollo sostenible. La búsqueda de referencias más concretas sobre los temas planteados es parte del trabajo que debe desarrollar cada alumno participante. Estas referencias 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:

- o <http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/Guiananociencia.pdf>

- o

- o <http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/guias2011/GUIANANOTE CNOLOGIAPARALAALIMENTACIONYELCONSUMO.pdf>

- o [http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/guias2012/GUIA\\_NANO-ROBOTS.pdf](http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/guias2012/GUIA_NANO-ROBOTS.pdf)

- o

- o <http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/nuevosmaterialesparaeld eporte.ppt>,

- o <http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/PresentacionNanotecnologia.ppt>

- ,

- o <http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/LINEA%204%20-%20NANO.ppt>

- o [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/PresentacionNanotecnologiametodologiasymaterialesparaelaula.PedroSerena.pdf](http://www.fundacionsanpatricio.com/investiga/pdf/presentaciones14_15/PresentacionNanotecnologiametodologiasymaterialesparaelaula.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 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, organizado 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.
- "Nanotecnología explicada a niños". C. Woodfort. <http://www.explainthatstuff.com/nanotechnologyforkids.html>
- La Red "José Roberto Leite" de Divulgación y Formación en Nanotecnología (NANODYF) posee una interesante página web con muchos documentos (<http://nanodyf.org/publicaciones.php>).
- 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)).
- Nanotechnology and the Poor: Opportunities and Risks, Meridian Institute, 2005 ([http://www.merid.org/en/Content/Projects/Global\\_Dialogue\\_on\\_Nanotechnology\\_and\\_the\\_Poor.aspx?view=docs](http://www.merid.org/en/Content/Projects/Global_Dialogue_on_Nanotechnology_and_the_Poor.aspx?view=docs))
- “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 “Desarrollo Sostenible”

- ONU. Organización de las Naciones Unidas . <http://www.un.org/es/index.html>
- Informe Brundtland. “Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future”, Organización de las Naciones Unidas, 1987. Disponible en: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- ONU. Objetivos de desarrollo del milenio (2000–2015). Enlace en <http://www.un.org/es/millenniumgoals/>
- Otro enlace interesante sobre los Objetivos del desarrollo del milenio en: <https://www.sostenibilidadp.es/pages/index/objetivos-de-desarrollo-del-milenio-2000-2015>
- ONU, Objetivos de desarrollo sostenible (2016–2030). Enlace en <http://www.un.org/es/millenniumgoals/beyond2015-news.shtml>
- ONU. “Proyecto de documento final de la cumbre de las Naciones Unidas para la aprobación de la agenda para el desarrollo después de 2015”. [http://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/2030\\_agenda\\_es.pdf](http://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/2030_agenda_es.pdf)

- “Nanotechnology and the Poor: Opportunities and Risks”, Meridian Institute, 2005. Este artículo establece cómo las nanotecnologías pueden ayudar al desarrollo de los países más pobres. Muy interesante para realizar la conexión de lo “nano” con parte de los Objetivos del Desarrollo Sostenible. Disponible en [http://www.merid.org/en/Content/Projects/Global\\_Dialogue\\_on\\_Nanotechnology\\_and\\_the\\_Poor.aspx?view=docs](http://www.merid.org/en/Content/Projects/Global_Dialogue_on_Nanotechnology_and_the_Poor.aspx?view=docs)

