

PROGRAMA INVESTIGA I+D+I 2022/2023

LÍNEA ESTRATÉGICA

Nanociencia, nanotecnología y nuevos materiales

GUÍA DE TRABAJO SOBRE EL TEMA:

"Nanotecnologías y nanomateriales para un planeta sediento: aplicación a los recursos hídricos"

Resumen

Disponer de un grifo o de unas instalaciones por las que brota un caudal de agua potable es un lujo que únicamente está al alcance de una parte de la Humanidad, aunque los habitantes de los países más desarrollados por lo general no damos importancia a la facilidad con la que accedemos al agua, recurso fundamental para la vida tal y como la conocemos. El exponencial aumento de población, deseosa de mejorar sus niveles de higiene y alimentación, de consumir productos industriales más elaborados o de acceder a usos lúdicos del agua (piscinas, parques acuáticos), ha disparado el consumo de agua en los países más avanzados. A la vez, el aumento de temperaturas debido al cambio climático anuncia devastadoras sequías, la pérdida de cubierta vegetal, la desertización de amplias zonas del planeta o la desaparición las reservas de agua dulce almacenadas en glaciares y capas polares de hielo. Por otro lado, ese recurso finito cada vez acumula más contaminantes fruto de la actividad humana: basura en ríos y mares, sustancias químicas de diverso tipo (pesticidas, hidrocarburos,...), macro, micro y nanoplásticos, etc. Como resultado de todos estos factores, el agua que necesitan animales y plantas, la misma que los seres humanos usamos para beber, cocinar, o ser usada en agricultura y ganadería será cada vez más escasa, más cara, menos accesible. Esto será un gran problema para los países más pobres, provocando complejos problemas sociales y aumentando las corrientes migratorias. Ante este formidable problema, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) planteó hace unos años el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 (ODS6) dentro de la Agenda 2030 acordada por la mayor parte de los países. Este ODS6 pretende garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible así como el acceso universal al saneamiento. Para superar este reto tendremos que actuar poniendo en marcha iniciativas políticas y socioeconómicas, por un lado, y por otro, echar mano de todas las soluciones que diferentes ramas del saber han ido acumulando en las últimas décadas, entre las que destaca aquellas que han surgido en el

ámbito de la nanotecnología. En esta edición del Programa Innova Iberdrola, el alumnado que participe en esta Línea de trabajo dedicada a los nuevos materiales y la nanotecnología, deberá indagar sobre estas "nanosoluciones", mostrando cómo el control de la materia a pequeña escala (nanoescala) nos puede ayudar a mantener esperanzas sobre el futuro del planeta Tierra y el de todas las especies que lo habitamos.

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 Iberdrola Innova (antes Programa Investiga IDI, <http://www.programainvestiga.org/>). Esta importancia se debe a que estas 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 tenía como finalidad lograr que dicho país fuese líder mundial en la aplicación de la nanotecnología en diversos sectores económicos. Por su parte, la Unión Europea ha considerado a la nanotecnología como un eje estratégico de investigación desde hace más de 15 años. 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 la vez que va mejorando a pasos agigantados su posición en el ranking de patentes.

Una de las características de la nanotecnología es su **origen 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 diversas nanoestructuras que son unidades básicas compartidas por todas las ramas del saber. La nanotecnología, por lo tanto, es un punto de encuentro en el que muchas disciplinas dialogan y que puede tener interés para muchas personas con diferentes intereses.

Otra de las características de la nanotecnología es su **carácter transversal**, es decir que tiene posible aplicación en la práctica totalidad de sectores productivos, lo que ha permitido que en cada edición del Programa Investiga I+D+I o Iberdrola Innova 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, (xii) nanotecnología y medicina., y (xiii) nanotecnología para la generación y uso sostenible de la energía.

Parece que los temas se van agotando, pero no es así, ya que, aunque los temas se repitan al cabo de un tiempo, la ciencia avanza tan rápidamente que siempre hay cosas nuevas que contar en cada uno de ellos. 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. En esta ocasión, durante el curso 2022-2023, vamos a adentrarnos en el tema de la **aplicación de la nanotecnología a la gestión de los recursos hídricos**.

El trabajo que debe realizar el o la estudiantes es una buena ocasión para aprovechar la **fascinación que produce lo diminuto** con el fin de 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, ciudadanos del futuro, todos como consumidores, pacientes y usuarios de diversas tecnologías, algunos como emprendedores y empresarios, otros como profesionales de la investigación científico-tecnológica, 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 Iberdrola Innova, que pueden utilizarse como punto de partida para hacer preguntas e intercambiar materiales en el Foro del Programa. La cuarta sección proporciona unos cuantos 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.

2.1. Una larga historia.

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. Recordemos aquí que el prefijo de origen griego “**nano**” (que

procede del griego “nanos”, diminuto) del Sistema Internacional (SI) se utiliza para referirse a las cosas muy, pero que muy, pequeñas. Un “nanoalgo” es la milmillonésima parte de ese algo. Cuesta imaginarse el poder reductor de este prefijo. Un nanosiglo, por poner un ejemplo sorprendente de una medida del tiempo, es un intervalo equivalente a un poco más de tres segundos. Otro ejemplo del poder reductor del prefijo “nano”, en este caso imposible, sería el de aplicarlo al planeta Tierra, una “nano-Tierra” sería un pequeño pedrusco que tendría el tamaño de una pelota de tenis. Si nos fijamos en la magnitud física longitud, un nanómetro es una unidad 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! Imaginemos que tenemos una regla en la mano, miremos el pequeño espacio que corresponde a un milímetro, e imaginemos ese espacio dividido en un millón de partes. ¡Hay que tener mucha imaginación!

Por su parte la **nanotecnología** va un poco más allá de la nanociencia, relacionada con el conocimiento más básico, y pretende convertir este conocimiento en herramientas, procedimientos, protocolos, etc. 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 que ahora no somos capaces de imaginarnos. 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. El salto desde el conocimiento más profundo y básico, generado habitualmente en el sector público, hasta otro que pueda ser usado por parte de las empresas del sector privado es lo que se denomina “**transferencia de tecnología**”. Por cierto, esta generación y transferencia 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. Hablando de personas muy preparadas, en muchas ocasiones, la comunidad científica siente rabia y consternación ante la llamada “fuga de cerebros” (sobre todo cuando ésta es definitiva porque se van para no regresar) que refleja el desaprovechamiento de talento que tanto cuesta formar. 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 lleva fraguándose en los laboratorios de investigación durante casi cincuenta años. Ya en el año 1959, el Premio Nobel de Física Richard Feynman, uno de los investigadores más polifacéticos e interesantes del siglo XX, anticipó muchos de los conceptos que se manejan actualmente en esta fascinante disciplina. 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, una vez que todos 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, unos 2000 millones de dólares (cifras de 2022) sin tener en cuenta las inversiones de los gobiernos estatales, las propias universidades o del potente sector privado. 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, y se ha acercado el conocimiento a las grandes empresas. 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.

2.2. La “nanofauna”

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 más grandes y complejas), nanopartículas, materiales nanoporosos, nanotubos de carbono, el grafeno, nanohilos metálicos y semiconductores, cadenas de ADN, liposomas, proteínas, ribosomas, dendritas, virus, etc. Estas nanoestructuras, **nanoobjetos** y nanomateriales son interesantes porque en algunas ocasiones manifiestan 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 posee unas buenas propiedades mecánicas, pero sus “hermanos pequeños”, los nanotubos de carbono tienen aún mejores propiedades. Esto es lo que proporciona a todo lo “nano” un gran valor añadido con respecto a los

tamaños “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 (un átomo del interior está completamente rodeado y enlazado con sus átomos vecinos, mientras que uno de la superficie está expuesto a la interacción y posee la capacidad de enlazarse con átomos de otras especies). A medida que un objeto se hace más y más pequeño, la proporción de átomos de la superficie frente a los de interior 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 ya es en realidad más superficie que volumen. En el caso de un material bidimensional (2D) como el grafeno formado por átomos de carbono que dibujan un bonito patrón hexagonal, todos los átomos son superficiales (y además “tienen vistas” a dos lados diferentes). 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 fascinante e 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, porque explica el mundo en que vivimos y sirve para diseñar aparatos y productos que usamos de manera cotidiana. Estas reglas y leyes explican cómo se organizan los electrones dentro de un átomo (en niveles de energía), cómo se enlazan los átomos para formar moléculas y otros objetos más y más complejos, y cómo estos objetos transportan la electricidad o el calor, y cómo reaccionan frente a deformaciones mecánicas, la presencia de campos eléctricos y magnéticos, o de la luz. No hay que alarmarse, ya que los participantes del Programa Iberdrola Innova no van a tener que estudiar los fundamentos de esta apasionante disciplina, y esto queda reservado para aquellos/as que más adelante estudien Física, Química, o Ingeniería Electrónica o de Telecomunicaciones, quienes 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. Es muy ilustrativo ver cómo se pasa de colores azulados si el tamaño es muy pequeño a rojizos cuando el tamaño crece. 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 pixeles 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 facilita la transversalidad y horizontalidad de la nanotecnología, de la que hablábamos antes.

Los efectos que se han mencionado anteriormente se denominan **efectos de tamaño** (tanto clásicos como cuánticos) y resultan bastante perturbadores, ya que para cada composición, tamaño y forma que posee un determinado nanoobjeto se obtienen propiedades ligera o radicalmente diferentes. Esto, que parece un problema o un auténtico descontrol, en realidad es la gran fuerza de la nanotecnología: si se **controla con gran precisión** la composición química, la estructura, 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 y este es el objetivo último de la nanotecnología. 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.

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 un 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.

2.3. Nuevos retos, nuevo instrumental.

Por lo tanto el control de la materia a escala nanométrica se está mejorando continuamente gracias a poderosas herramientas físicas, novedosas reacciones químicas o ideas procedentes de la biología, lo que nos permiten fabricar nanoobjetos, nanodispositivos y sintetizar nanomateriales. Además, los 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 una especie de 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. Luego otros investigadores e ingenieros se las arreglan para buscar cómo aprovechar mejor estas propiedades y producir materiales y dispositivos.

Claro que, para poder operar en el nanomundo, lo primero que necesitamos son 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 barrido (SEM) o de transmisión (TEM)** de última generación. Estas herramientas permiten la observación e incluso, en algunos casos, la manipulación directa de átomos y moléculas. En el año 2021, se cumplieron 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. Por cierto, es muy recomendable visualizar **el documental del CSIC “40 años viendo átomos”** (<https://www.youtube.com/watch?v=pJ0MtKqTOco>) que cuenta la historia del STM y del importantísimo papel que jugó la comunidad científica española en el desarrollo de este instrumento.

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 ultrarrápidas y sin perder precisión. Aún se está muy lejos de lograrlo. 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, podemos 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, solo la mitad se incorpora exitosamente en algún producto comercial. 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 innovación. Parece un esquema algo ineficiente, pero es como se ha

venido trabajando en los últimos 150 años y ha servido para generar una gran reserva de conocimientos en muchísimas disciplinas.

2.4. El salto al mercado.

A estas alturas ya debemos sentir el vértigo que produce saber que la nanotecnología evoluciona de manera imparable gracias a las aportaciones que realizan biólogos, químicos, físicos, ingenieros, matemáticos y médicos. Como se ha dicho antes el ámbito “nano” es absolutamente multidisciplinar. 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.

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. Por eso se dice que la nanotecnología es **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 casi 10.000 productos comercializados** en todo el mundo que tienen componentes nanotecnológicos. Para echar un vistazo a este “nanomercado” se recomienda visitar la página de la inciativa Statnano (<https://product.statnano.com/>).

3. Nanotecnología para el tratamiento del agua

3.1. Un grave problema

Todos nosotros, por lo general, vivimos en un contexto en el que no nos preocupamos mucho por el agua, ya que tenemos un grifo en casa por el que con un leve movimiento de una palanca sale agua que usamos para beber, cocinar alimentos, ducharnos, lavar la ropa o regar las plantas. Sin embargo, a nivel planetario el acceso al agua potable es un artículo de lujo. Para cubrir las necesidades más básicas de los seres humanos, relacionadas con la alimentación y la higiene, diariamente se requieren unos 50 litros de agua por persona, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), pero las cifras de consumo de agua per cápita varían mucho de un país a otro. En España cada persona, en promedio, consume más de 300 litros diarios teniendo en cuenta tanto el consumo doméstico (en torno a un tercio de esta cantidad) como la parte que corresponde a la producción agrícola, ganadera e industrial, la limpieza de las ciudades, al riego de parques, al ocio, etc. En países como EE.UU. o Australia el consumo por habitante es mucho mayor, llegando a triplicar al de España. En el extremo opuesto, hay muchos países en los que sus habitantes deben conformarse con unas pocas decenas de litros por día, cantidad insuficiente para asegurar su supervivencia. Por otro lado, disponer de cuartos de baño con lavabos, bañeras, duchas,

retretes, sistemas de alcantarillado, estaciones de depuración de agua, también es un lujo que no sabemos valorar adecuadamente.

Para tener un diagnóstico más claro de la situación conviene conocer una serie de datos que figuran en el portal de las Naciones Unidas (ONU) (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>):

- 3 de cada 10 personas carecen de acceso a servicios de agua potable seguros y 6 de cada 10 carecen de acceso a instalaciones de saneamiento gestionadas de forma segura.
- Al menos 892 millones de personas continúan con la práctica insalubre de la defecación al aire libre.
- Las mujeres y las niñas son las encargadas de recolectar agua en el 80% de los hogares sin acceso a agua corriente.
- La escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial y se prevé que este porcentaje aumente.
- Más de 1.700 millones de personas viven actualmente en cuencas fluviales en las que el consumo de agua supera la recarga.
- 4.000 millones de personas carecen de acceso a servicios básicos de saneamiento, como retretes o letrinas.
- Más del 80% de las aguas residuales resultantes de actividades humanas se vierten en los ríos o el mar sin ningún tratamiento, lo que provoca su contaminación.
- Cada día, alrededor de 1000 niños mueren debido a enfermedades diarreicas asociadas a la falta de higiene.
- Aproximadamente el 70% de todas las aguas extraídas de los ríos, lagos y acuíferos se utilizan para el riego.
- Las inundaciones y otros desastres relacionados con el agua representan el 70% de todas las muertes relacionadas con desastres naturales.

En el mismo informe también se dice que entre 1990 y 2015, la proporción de población mundial que utilizaba una fuente mejorada de agua potable pasó del 76% al 90%, lo cual indica que se han realizado importantes esfuerzos para paliar la desastrosa situación de hace tres o cuatro décadas. Es evidente que el agua dulce es un valioso y limitado recurso que está amenazado porque la huella hídrica de la humanidad se ha multiplicado por seis en el último siglo, debido al aumento de la población y la mejora, en general, de su calidad de vida. Por otro lado, la actividad humana ha causado daños sobre las reservas de agua dulce, bien por la sobreexplotación de las mismas para hacer habitables grandes núcleos urbanos y aumentar la producción agropecuaria o bien por la descontrolada acumulación de residuos y

contaminantes. A todo lo anterior hay que añadir los negativos efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos (mayor evaporación, sequías, fusión de masas de agua dulce helada).

La preocupación por los temas medioambientales en general surge en el último tercio del siglo XX, con grandes movimientos ecologistas, los informes de los científicos, etc. Esta preocupación por el medioambiente, junto otros temas como las desigualdades sociales, quedó reflejada en el informe de la ONU “Nuestro Futuro Común” (“*Our Common Future*”) aunque se conoce de forma más coloquial como “Informe Brundtland” (por la doctora Brundtland, que lo coordinó). Por cierto, en este documento 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. Desde entonces la propia ONU ha propuesto esquemas de desarrollo que permitan lograr dicho desarrollo sostenible. Sin embargo, la irrupción de los problemas derivados del Cambio Climático ha abierto un nuevo frente de preocupación. En septiembre de 2015, la ONU aprobó la Agenda 2030, que incluye 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que deben alcanzarse en el periodo 2015-2030. Los ODS, que han tenido una gran repercusión mediática y se han difundido por todos los rincones del planeta, pretenden acabar con la pobreza, combatir la desigualdad y luchar contra el cambio climático con el fin de lograr una vida digna para todos, evitando que ciertos grupos humanos se queden atrás. Dentro de los ODS hay uno, el ODS6, que **pretende “garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”**. ¡Un reto impresionante en vista de los problemas que antes se han detallado!

3.2. La nanotecnología al rescate.

El ODS 6 es un objetivo ambicioso, en el que la ciencia y la tecnología tienen una importancia evidente, pero **¿qué papel puede jugar la nanotecnología en la misma?** Precisamente este es el tema de investigación de esta edición por lo que los y las participantes serán los encargados de averiguar dicha contribución de la nanotecnología. Sin embargo, a continuación, se facilitan algunas pistas sobre la aportación de la nanotecnología en la gestión del agua, en concreto en los temas de descontaminación, desalación o control de calidad.

Descontaminación del agua

La contaminación de ríos, lagos y mares es uno de los mayores problemas causados por la industrialización masiva y la creación de grandes núcleos urbanos, o por el uso masivo de pesticidas y fertilizantes. A esto hay que sumar raquílicas políticas (a nivel mundial) de dotación de infraestructuras que permitan la descontaminación y el tratamiento de aguas. En este contexto, la nanotecnología ofrece soluciones. Es fácil visualizar la capacidad de los materiales **nanoporosos** para actuar como filtros o tamices moleculares, separando del agua aquellas estructuras que son más grandes que el diámetro de los diminutos poros como moléculas grandes (por ejemplo,

hidrocarburos), proteínas, virus, y bacterias. Además se están diseñando materiales capaces de extraer del agua algún elemento químico tóxico de manera selectiva como puede ser el arsénico o el flúor. Otras propuestas para descontaminar el agua son muy imaginativas, como la descontaminación mediante campos magnéticos que arrastran **nanopartículas magnéticas** convenientemente funcionalizadas a las que se han enlazado sustancias contaminantes. El filtrado selectivo de sustancias presentes en el agua es interesante pero no permite la destrucción de las moléculas de sustancias contaminantes. Esto se puede lograr usando nanomateriales de gran superficie específica que tengan **actividad fotocatalítica**, es decir, que sean capaces de absorber parte de la energía solar para catalizar (es decir, facilitar) reacciones de oxidación o de reducción, según sea necesario, que favorecen la descomposición de dichas sustancias contaminantes.

Desalación

Desde hace varias décadas se ha hecho un esfuerzo muy grande por transformar el agua del mar en agua con muy baja salinidad, para su uso doméstico o en agricultura, lo que se ha logrado mediante grandes plantas desaladoras que utilizan el proceso de ósmosis inversa para separar la sal del agua. La nanotecnología se está usando para optimizar los materiales que se emplean en las membranas que realizan la separación de la sal del agua marina, pero además ha permitido diseñar procesos de nanofiltración como alternativa a la ósmosis inversa.

Control de calidad del agua.

Tampoco hay que olvidar que una parte importante del aprovechamiento de los recursos hídricos pasa por controlar en tiempo real la calidad del agua, lo que se puede conseguir mediante el desarrollo de nanosensores, que se integrarían en diminutas estaciones de muestreo que operarían en red, mejorando la detección de contaminantes químicos y agentes biológicos en ríos, lagos, mares, embalses y redes de suministro de agua.

Otros aspectos a tener en cuenta.

Además de los anteriores temas existen otros, relacionados con la gestión del agua, que pueden verse influenciados por el uso de nanomateriales, como puede ser el uso de materiales bactericidas, que repelen la suciedad o que tengan la capacidad de evitar malos olores, que pueden incorporarse en pinturas, textiles, cementos, etc. y de esta forma ayudar a disminuir el consumo de agua. La nanotecnología también será importante en otros sectores como el aeroespacial ya que se debe garantizar la supervivencia en el espacio, la Luna o Marte de pequeños grupos humanos durante largo espacio de tiempo, lo que es un reto para la gestión de los recursos hídricos. Por eso no es de extrañar que la NASA contemple el desarrollo de proyectos

relacionados con el uso de nanomateriales para garantizar el acceso a agua de calidad con la que poder surtir a los tripulantes y para el desarrollo de una agricultura espacial. ¡Fascinante!

Finalmente se debe reflexionar sobre los costes de estas soluciones, ya que muchos de los países en los que hay mayores problemas con el acceso y gestión de los recursos hídricos tienen poca capacidad económica, y esto es muy importante para que puedan alcanzar los ODS.

3.3 ¡Atención, no todo es de color rosa!

Todas las tecnologías tienen su cara amable y su lado oscuro: la energía nuclear, las centrales térmicas, los vehículos, los aviones, etc. La nanotecnología, no es una excepción: por un lado, promete enormes y revolucionarias posibilidades, pero por otro, presenta algunos riesgos que deben ser conocidos para ser controlados y tomar las decisiones adecuadas.

En el caso de la nanotecnología se sabe que ciertos nanomateriales son potencialmente peligrosos para la salud y el medioambiente. Es evidente que los nanomateriales, al ser de tamaño inferior al de las células, pueden encontrar formas de entrar en el interior de las mismas y, de esta forma, quizás interferir con el metabolismo celular, con los mecanismos de replicación del ADN o de creación de proteínas. Aunque es cierto que, por lo general, los nanomateriales empleados no pueden liberarse fácilmente de los productos de los que forman parte, esta liberación puede ocurrir paulatinamente, a lo largo la vida útil de los mismos o una vez que éstos hayan sido desechados en vertederos. En particular estos nanomateriales pueden terminar, de diversas formas, en ríos o lagos, por lo que puede ocurrir que la nanotecnología en lugar de una solución se convierta en un problema.

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, nanomaterial a nanomaterial, pero este aspecto de los nanomateriales debe tenerse en cuenta para la futura comercialización y aceptación social de la nanotecnología. 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, pero es obligatoria, para poder facilitar información 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 nanoproducidos 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, sin olvidar exigir también la vigilancia del cumplimiento de dichas normas.

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. Numerar las secciones y subsecciones (¡y las páginas!).
- Cuidar la redacción. Escribir con claridad, sin faltas de ortografía y con una buena sintaxis.
- Evitar el plagio de otros trabajos o de páginas web. El “corta-pegar” no está permitido y es fácilmente detectable. La documentación leída, se digiere, se procesa, y se plasma con las palabras del propio autor, añadiendo sus ingredientes adicionales y su estilo. Las frases que se usen literalmente deben ser entrecorridas 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
- "Nanotecnología para el Desarrollo Sostenible" (P. A. Serena, Colección “Qué sabemos de...”, Editorial La Catarata y el CSIC, Madrid, 2021).
- Serie de televisión “Qué sabemos de la nanotecnología”. Universidad Nacional de Educación a Distancia y CSIC. Esta serie consta de 17 capítulos a los que se puede acceder mediante el enlace <https://canal.uned.es/serial/index/id/875>
- Curso on-line “Todo Nano – Nano para todos” coordinado por la iniciativa 10alamos9 (<https://10alamos9.es/todonano/>)

- En la página web <http://product.statnano.com/> hay un inventario de productos de la Nanotecnología en el que ya se mencionan más de 9900 productos de todo el mundo que contienen algún tipo de nanocomponente. Más de un millar están relacionados con la medicina.
- Otro inventario de productos comercializados en Europa (más de 5000) en <http://nanodb.dk/>
- En España, una gran parte de los grupos de investigación que trabajan en la temática de la nanotecnología se encuentran agrupados en la Red Española de Nanotecnología (NANOSPAIN) (<http://www.nanospain.org>). En la sección “Members” pueden identificarse más de 380 grupos que trabajan en este tema, lo que puede ser de interés para realizar entrevistas que pueden incluirse como parte del trabajo.
- Iniciativa Nacional de Nanotecnología de los EE.UU. (NNI, <http://www.nano.gov/>). Hay una sección interesante dedicada a temas educativos con muchos recursos.

5.2 Referencias y enlaces relacionados con el tema propuesto (Nanotecnología y agua)

- ONU, “Objetivos de desarrollo sostenible (2016–2030)”. Enlace en <http://www.un.org/es/millenniumgoals/beyond2015-news.shtml>
- UNESCO, “Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático”, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), París. <https://es.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2020>
- 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.
- M. Douas, P.A. Serena, M.I. Marqués, “La conexión Nanotecnología – Agua”, <https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/conexion-nanotecnologia-agua>
- P.A. Serena, “Aplicaciones de las nanotecnologías en los estudios sobre el agua: un tema de interés estratégico para Iberoamérica y España”, Pedro A. Serena, Mundo nano vol.2 no.1 Ciudad de México ene./jun. 2009. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-56912009000100088&lng=es&nrm=is
Q
- D. Grimshaw, “Nanotecnología para obtener agua limpia: hechos y cifras”, <https://www.scidev.net/america-latina/features/nanotecnolog-a-para-obtener-agua-limpia-hechos-y-c/>

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

5.4 Guías y presentaciones correspondientes a ediciones pasadas del Programa Iberdrola Innova (Investiga IDI) sobre la temática de Nanotecnología.

Se pueden descargar de:

- https://programainvestiga.org/documentacion_historica.php
- https://programainvestiga.org/documentacion_ponenciashistorica.php