

Nanotecnología, hacia un nuevo portal científico-tecnológico

Fiona M. Britto y Guillermo R. Castro*

Laboratorio de Nanobiomateriales, CINDEFI (CONICET-UNLP, CCT La Plata), Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

* Email: grcastro@gmail.com

Recibido: 28 de noviembre 2012

Aceptado: 4 de diciembre de 2012

Resumen

Durante las últimas décadas, la humanidad ha experimentado una nueva revolución científico-tecnológica, la nanotecnología. Este campo emergente representa una promesa atractiva, ya que afectará muchos aspectos de la vida y la sociedad. Especialmente, la nanobiotecnología, un campo derivado de la nanotecnología inspirado en la naturaleza, viene a cambiar la visión del cuidado de la salud, llevando al desarrollo de una nueva disciplina, la nanomedicina. Hoy en día, la nanomedicina es considerada uno de los campos de vanguardia, impulsando la mayoría de las inversiones en investigación y desarrollo. En esta revisión se presenta una visión general de las aplicaciones más prometedoras de la nanomedicina, como la ingeniería de tejidos, liberación controlada de fármacos, y la detección temprana de enfermedades. Además, se discuten algunas de las tendencias modernas y desafíos.

Palabras clave: nanobiotecnología, nanomedicina, liberación controlada de fármacos, ingeniería de tejidos, detección temprana de enfermedades.

Nanobiotechnology: towards a new scientific and technological gateway

Abstract

Over the last decade, the humanity has experienced a new scientific and technological revolution, nanotechnology. This emerging field represents an attractive promise since it will affect many aspects of life and society. Specially, nanobiotechnology, a field derived from nanotechnology inspired in nature, comes to change healthcare vision, leading to the development of a new discipline, nanomedicine. Nowadays, nanomedicine is considered one of the most cutting-edge field, driving most of the investments in research and development. This review presents an overview on nanomedicine most promising applications, such as tissue engineering, controlled drug release and early detection of diseases. Also, some modern trends and challenges are discussed.

Keywords: nanobiotechnology, nanomedicine, controlled drug release, tissue engineering, early detection of diseases.

Introducción

Es innegable la importancia que han tenido las revoluciones científicas y tecnológicas a lo largo de la historia de la humanidad. Cada revolución ha tenido como consecuencia un cambio de paradigma asociado a la introducción de nuevas tecnologías en las sociedades, que han modificado las conductas individuales y colectivas, y provocado un marcado salto intelectual. Es así que las sociedades han transitado procesos profundos de transformación que se han categorizado genéricamente en revoluciones agrícola, industrial, informático-tecnológica, y por último en la biotecnológica. Cada proceso por se involucró la búsqueda de soluciones a problemas inherentes a los respectivos periodos económicos, sociales y productivos. La revolución agrícola se fundó en el aprovechamiento extensivo de los recursos naturales por ese entonces abundantes, mientras que la revolución industrial se basó en mejorar los estándares de vida de las sociedades. La revolución informática-tecnológica involucró un cambio sustantivo en las comunicaciones y en el almacenamiento y procesamiento de la información, mientras la revolución biotecnológica ha hecho hincapié en el aprovechamiento intensivo de los recursos naturales debido a su progresiva limitación. Sin embargo, estos últimos dos procesos revolucionarios pueden ser considerados como una consecuencia y extensión de la revolución industrial debido a que no se modifican sustantivamente los procesos productivos, sino que son un aporte adicional. Partiendo de un análisis reduccionista podríamos aseverar que la tecnología que actualmente empleamos en lo cotidiano se basa en desarrollos científicos tecnológicos realizados hasta las décadas del 50-60, con algunas excepciones. Sin embargo, ha comenzado lentamente un nuevo proceso revolucionario de transformación profunda que se denomina nanotecnología. Una de las características esenciales de la nanotecnología es la que la producción de objetos tecnológicos es debido a la manipulación de la materia a escala atómica, por lo que es necesario utilizar herramientas sofisticadas que nos permiten poder observar y manipular el mundo material. En este sentido, es dable notar que los desarrollos nanotecnológicos se basan, y por primera vez en la historia de la humanidad, en observaciones indirectas (mediadas por instrumentos) de las transformaciones realizadas en la materia debidas a su pequeña escala. Eso significa un cambio de paradigma que afecta desde la concepción y diseño de los objetos materiales hasta las modalidades de su producción. Sin embargo, y a pesar de la abstracción requerida para poder interpretar de manera racional los desarrollos nanotecnológicos, su impacto y alcances a nivel de la sociedad están muy lejos de ser totalmente dimensionados. Un ejemplo de ello son la tendencias en la aplicación de patentes que ha aumentado exponencialmente desde el año 2001, en países pertenecientes a la OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) durante el 2008 hubo 12.776 aplicaciones de patentes (Figura 1). Sin embargo, la nanotecnología ya se encuentra en muchos de los productos que consumimos o usamos diariamente, y comprende diversas áreas como por ejemplo componentes automotrices y electrónicos, pasando por materiales textiles, fármacos, cosmético y alimentos, entre otros.

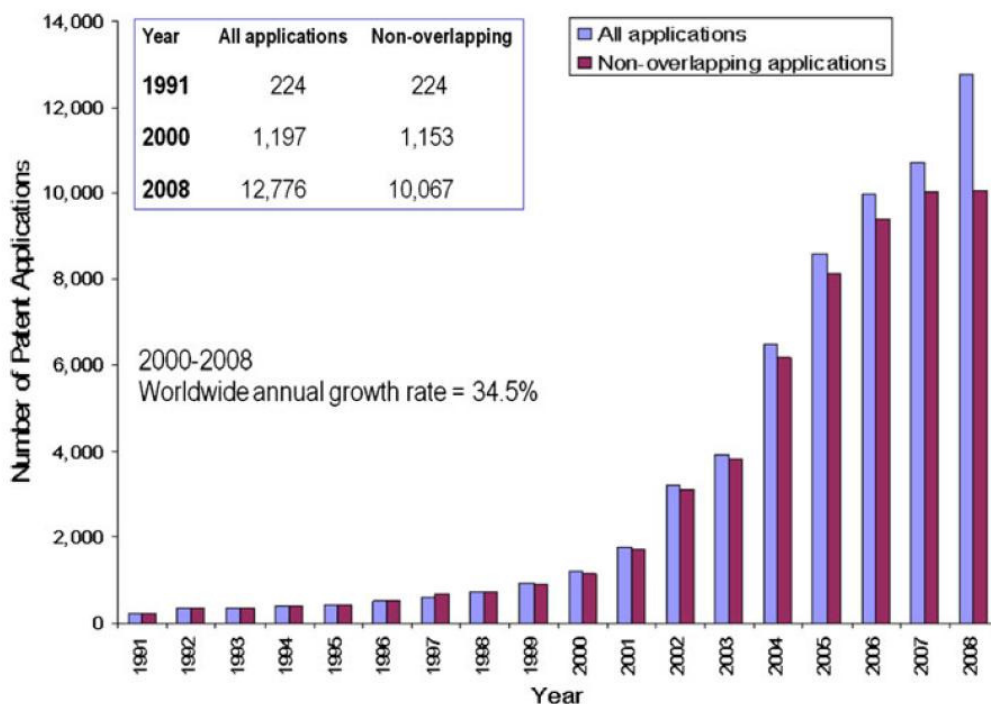


Figura 1: Aplicaciones de patentes en países pertenecientes a la OECD. Fuente: <http://baneromics.blogspot.com.ar/2011/07/made-in-new-zealand-art-of-nano-locally.html>

Por lo tanto, podemos afirmar que las aún incipientes nanotecnologías abarcarán todas las actividades humanas provocando profundos cambios en las estructuras sociales como productivas.

Es en este punto necesario definir conceptualmente y de manera amplia a las nanotecnologías. En principio, podríamos considerar la definición *sensu stricto* establecida por la National Science Foundation (EE.UU.) que afirma que un objeto “nano” es aquel que posee en alguna de sus tres dimensiones físicas una escala comprendida entre 1 y 100 nanómetros (un nanómetro es igual a 10^{-9} metros). Sin embargo, y con un criterio más abarcador y desde el punto de vista productivo y de su utilización, esta definición puede extenderse hasta el milímetro (Figura 2). Por lo que de manera genérica, podríamos definir nanotecnología como el estudio, diseño, síntesis, manipulación y aplicación de materiales funcionales, dispositivos y sistemas a través del control de la materia a escala nanométrica (atómica), y el uso de las nuevas propiedades en esa escala.

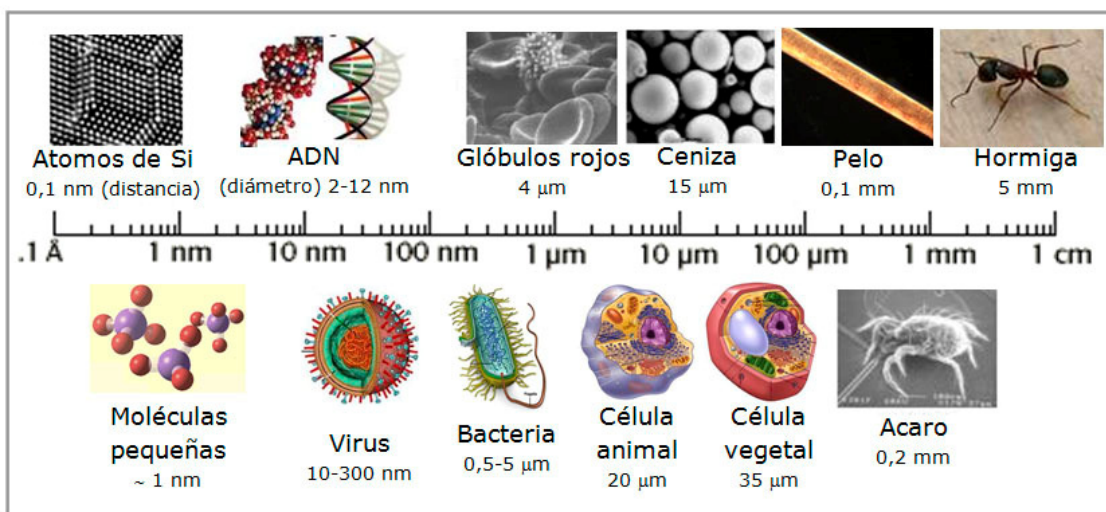


Figura 2: Tamaños y comparaciones de escalas.

Si bien se encuentra fuera del enfoque del presente artículo la historia de la nanotecnología, se resumirán hechos que conforman algunas de las piedras basales de esta tecnología, los cuales se inician con el concepto de átomo, mencionado por primera vez en manuscritos escritos en sánscrito por el filósofo indio Kanada pertenecientes aparentemente al siglo II A.C., el cual fue introducido en occidente por una serie de filósofos griegos. Posteriormente, los estudios realizados por Dalton, Rutherford, Bohr y más recientemente los avances realizados por Einstein, Pauli, Bose y Heisenberg entre otros, permitieron obtener valiosas informaciones sobre la estructura atómica y su comportamiento físico en el mundo material. En 1959, el físico Richard Feynman dictaba en CALTECH una conferencia titulada *There's Plenty of Room at the Bottom* (traducido literalmente como "Existe mucho espacio en el fondo"), en donde presentaba la visionaria posibilidad de una nueva revolución, la nanotecnológica basada en la manipulación y el control de objetos a pequeña escala, más precisamente la atómica. Esta conferencia impulsó los primeros trabajos realizados en el área, sembrando la semilla de la que sería muchos años después denominado nanotecnología, término acuñado por Taniguchi en 1974. No obstante, uno de los trabajos más determinantes en el progreso de este campo ha sido la creación del Microscopio de Túnel de Barrido (Scanning Tunneling Microscope o STM), diseñado por investigadores del laboratorio de IBM en 1981. La importancia de este hallazgo radica en la posibilidad de ver y mover átomos, mediante un acercamiento nunca antes realizado y que modificó completamente la percepción de los materiales. Este punto es fundamental y distintivo en el modelo nanotecnológico, ya que el diseño y el modo de producción de los materiales se realiza mediante una aproximación racional, basada en el mayor conocimiento de la estructura y las propiedades fisicoquímicas de los materiales.

Durante los siguientes años se ha ido incrementando significativamente el número de trabajos, y esto ha sido consecuencia tanto de la evolución en técnicas y equipamientos de

microscopios para una mejor comprensión de la materia a escala atómica- molecular, como así también gracias al trabajo interdisciplinario entre campos como química, física, biología, ingenierías, e informática, entre otras, aportando al crecimiento de este campo con solidez científica.

Una descripción exhaustiva de la nanotecnología, que incluya un análisis detallado de los distintos nanomateriales existentes, modelos y propiedades, y sobre todo, las diversas aplicaciones de este campo, queda fuera del contenido de este artículo, principalmente debido a la extensión del tema.

Nanobiotecnología.

La vida, desde un punto de vista mecanicista, comprende complejos procesos desarrollados por estructuras moleculares y supramoleculares, que funcionan de manera conjunta y sincrónica, en un espacio físico tridimensional y temporal definido en cada organismo. Así por ejemplo, el hecho de que un proceso tan natural como lo es la respiración, involucre toda una serie etapas complejas a nivel molecular, desde que el oxígeno ingresa al organismo y llega a las células, mediado por estructuras moleculares que actúan de manera totalmente concertada, es simplemente increíble. Y es una muestra de la gran complejidad que se sucede a nivel atómico y molecular. Por lo que podríamos afirmar que no existe nada descubierto por el hombre que supere la complejidad y variabilidad de los mecanismos que se observan en los organismos vivos.

La Biología posee necesariamente una base molecular, y todas las moléculas que participan en los procesos biomoleculares pueden ser consideradas como complejas nano-bio-máquinas. El autoensamblado es un mecanismo central en los organismos vivientes que utiliza “bloques de construcción”, a saber: proteínas, ácidos nucleicos, lípidos y polisacáridos, entre otros. Y teniendo en cuenta la dimensión de estos “bloques de construcción”, dentro de la escala nanométrica es correcto pensar que el comportamiento está regido por las mismas reglas que se comportan los nanomateriales. Por lo tanto, la convergencia entre la nanotecnología y la biología molecular sucede de manera natural, y dejando un vasto campo para la investigación y desarrollo, denominado Nanobiotecnología.

Nanomedicina

La nanobiotecnología posee, inevitablemente, un impacto en el cuidado de la salud, ya que es en la nanoescala donde suceden todos los procesos fisicoquímicos que gobiernan el plegado y las interacciones de biomoléculas complejas, por lo que cualquier enfermedad empieza a este nivel. La aplicación biomédica de la nanobiotecnología se conoce como nanomedicina, y se considera un área de vanguardia, no solo por las consecuencias indudables que va a generar en las sociedades, sino por los desafíos que presenta para poder

superar el vacío existente entre la fase experimental y la fase clínica de los productos y tecnologías desarrolladas.

El avance de la biología molecular, sumada a la capacidad de manipular y controlar la materia a menor escala, y el aprovechamiento de las propiedades novedades de los nanomateriales, presenta una nueva forma de encarar a las enfermedades desde un campo molecular. Por lo que la nanomedicina ha comenzado a ganar espacios en la sociedad debido al gran espectro de sus aplicaciones potenciales, algunas de las cuales se encuentran disponibles en el mercado. Y en el presente, todos los intereses apuntan a la utilización de nanobiotecnología para introducir mejoras en el diagnóstico, detección temprana y tratamiento de enfermedades crónicas y agudas, favoreciendo la rapidez del análisis, la sensibilidad y especificidad. En especial, algunas de las aplicaciones más prometedoras son la liberación controlada y dirigida de fármacos, la ingeniería de tejidos, el diagnóstico por imágenes y la detección temprana de patologías.

Liberación controlada de fármacos.

La liberación controlada y dirigida de fármacos, conocida como drug delivery, es uno de los campos más dominantes y prometedores de la nanomedicina. Se trata de sistemas que poseen la capacidad de administrar drogas durante un período prolongado de tiempo a una tasa de liberación controlada, permitiendo niveles constantes del fármaco en el organismo y/o a su vez, direccionando la droga hacia el sitio de acción. Esta metodología de administración de fármacos hace posible la reducción de los posibles efectos secundarios tóxicos del fármaco y aumenta la eficiencia de la terapia.

El interés en el desarrollo de este campo queda claro al analizar cuál es la mayor problemática de la administración convencional de medicamentos hoy en día: se administra en dosis elevadas debido a una alta dispersión en el organismo, por lo que se vuelve tóxica. Entre los casos más comunes se encuentran la administración oral de antibióticos. Algunas de estas moléculas poseen baja biodisponibilidad lo que requiere una elevada concentración para que sea efectiva la terapia, sin embargo, administradas por vía oral pueden provocar irritación a nivel gastrointestinal, hecho que puede ser salvado mediante una liberación controlada. Más grave es aun la situación para patologías como cáncer, donde los tratamientos convencionales basados en la quimioterapia discriminan pobremente entre células transformadas y normales, provocando severos efectos secundarios (inmunosupresión, disminución de las series celulares mieloides, etc...).

En este contexto, el diseño de sistemas, y en particular, nanosistemas que optimicen la biodisponibilidad de una droga resulta fundamental para abordar la problemática, principalmente por el número de factores que permiten controlar: 1) cuánta droga se libera, 2) en qué órganos se realiza la liberación de la droga, 3) a qué tipo de célula es dirigido el

fármaco, 4) en qué tiempo se libera la droga, 5) cuánto tiempo reside el fármaco en el organismo, 6) la toxicidad del fármaco.

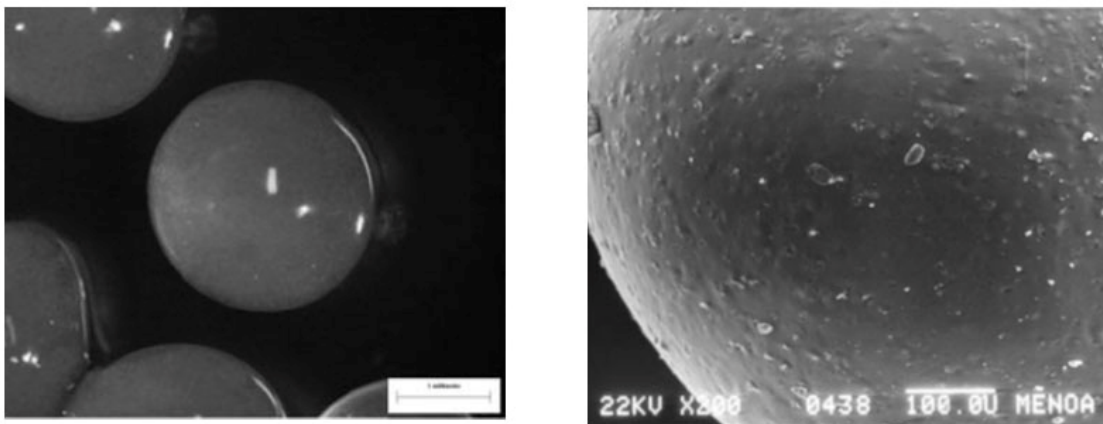


Figura 3: Microscopías óptica y electrónica de barrido de microesferas gelificadas de pectina conteniendo sulfasalasina, droga de muy baja biodisponibilidad. Fotos: izquierda, microscopía óptica, derecha: microscopía electrónica. Fuente: Costas y cols., 2012. *Appl. Biochem Biotechnol.* 167:1396–1407

La gran ventaja que presentan los nanosistemas para la administración de fármacos es precisamente la dimensión nanométrica de los mismos, que les permite ingresar a una célula por mecanismos diversos y ser dirigido hacia un blanco intracelular cuando lo sea requerido.

Actualmente, el desarrollo de nanosistemas de liberación controlada y/o dirigida de fármacos es una de las áreas con mayor interés tanto para el nivel de investigación como industrial. Esto ha resultado en la apertura de un campo de desarrollo de alta complejidad y lleno de posibilidades de diseño, con una variedad de sistemas que puedan actuar como vectores en el transporte de fármacos, como son nanopartículas biopoliméricas, liposomas, dendrímeros, nanopolvos, nanocristales, etc. donde se puedan estructurar la composición de las matrices con diversos materiales y su topología de manera de otorgarle propiedades específicas de actividad.

La utilización de biopolímeros en sistemas de liberación controlada de fármacos resulta sumamente atractiva debido las propiedades de biocompatibilidad, biodegradabilidad, ausencia de inmunogenicidad que presentan la mayoría de los polímeros de origen natural. Además, son relativamente estables a pH estomacal, por lo que se evita la degradación temprana del fármaco, y se pueden modificar para que sean sensibles al pH intestinal, y poseen la ventaja de poder ser degradados en condiciones fisiológicas por el organismo. Este tipo de polímeros se denominan “inteligentes” debido a que responden a condiciones ambientales y pueden ser “programados”.

Ingeniería de tejidos

La ingeniería de tejidos, o también conocida como medicina regenerativa, se trata de un campo interdisciplinario que aplica principios de ingeniería y ciencias de la vida para el desarrollo de sustitutos biológicos, con la finalidad de resolver problemas clínicos y quirúrgicos asociados a la pérdida de tejido o al fallo funcional de órganos. En realidad, el concepto de poder desarrollar un soporte adecuado para la regeneración de tejidos se viene desarrollando desde hace varios años mediante técnicas tradicionales de Biología Molecular. Gracias a este avance es que actualmente son conocidos y muy utilizados, los implantes, prótesis, y demás dispositivos, como así también diferentes terapias como trasplantes de tejidos y órganos, todas destinados a la regeneración o reemplazo de un tejido total o parcial. Sin embargo, los materiales y terapias tradicionales todavía presentan una serie de problemas de biocompatibilidad, degradabilidad, y como el rechazo por inflamación e infección, entre otros, que impide satisfacer la demanda de alto nivel necesaria para el paciente hoy en día. Por lo que el desarrollo de nanosistemas híbridos biocompatibles se avizora como una alternativa de gran proyección. La razón de ello es simple: existe una similitud dimensional entre las complejas estructuras que componen los tejidos y la de los nanomateriales. Las excelentes propiedades mecánicas, eléctricas y de superficie que presentan los nanomateriales, junto con la utilización de materiales biocompatibles, no inmunogénicos, y biodegradables, contribuyen al perfeccionamiento de este campo. Así por ejemplo, al analizar la estructura del hueso, puede observarse que se trata de una matriz integrada principalmente por nanocristales de hidroxiapatita (HA), cuyo papel es dotar rigidez y dureza al hueso, junto a una matriz extracelular formada por proteínas mayoritariamente, que resulta clave en la estimulación del crecimiento celular. El hueso es un verdadero nanocompuesto, cuya compleja estructura jerárquica, organizada mediante autoensamblado, es la clave para la resistencia de los huesos. El propósito de la implementación de nanoestructuras en ingeniería de tejidos es poder emular las estructuras biológicas, y en partículas, para la regeneración del tejido óseo, poder imitar la compleja estructura del hueso, aprovechando las características biomiméticas de los nanomateriales.

Además de una similitud dimensional entre los materiales, se distinguen las propiedades de superficie que exhiben los nanomateriales, ya que se vio que promueven la interacción con proteínas específicas para estimular el crecimiento celular, de manera más eficiente y dirigida. Se cree que este es uno de los mecanismos fundamentales por lo cual los nanomateriales son superiores a los materiales convencionales, debido a que se favorece la osteo-integración entre el material sintético y el tejido óseo. Como se mencionara anteriormente, una de las causas principales por las cuales fallan los materiales tradicionales es el rechazo por parte del organismo. Por lo tanto, se debe ser capaz de promover una respuesta biológica específica en la interface del material, que resulte en la formación de una unión entre el tejido y el sustituto biológico, lo cual ocurre a escala nanométrica.

La capacidad de manipular la materia a escala molecular que ofrece la nanotecnología otorga la posibilidad de crear nuevos andamios tridimensionales mediante técnicas de autoensamblado, con características biomiméticas y que promueva de los tejidos de acuerdo a un orden específico, como se mencionara en el tratamiento óseo. Se han diseñado diversas estructuras con péptidos o polímeros que se autoensamblan en nanofibras, y en presencia de nanocristales de hidroxiapatita (fosfato de calcio) forman nanocompuestos, cuya estructura es muy similar a la del hueso. Estos diseños han presentado resultados innovadores, en especial en el comportamiento de las células madres mesenquimáticas, debido a que favorece la diferenciación osteogénica.

Si bien el análisis realizado se enfoca en la regeneración del tejido óseo, debe saberse que el fundamento de la aplicación de nanobiotecnología en esta área puede ser extendida a otras aplicaciones de la ingeniería de tejidos, como así también al material quirúrgico. Algunos enfoques en estudio son la regeneración de vasos sanguíneos y neuronas, implantes dentales, entre otros. El tejido vascular presenta características nanoestructuradas, por lo que también es promisoría nanobiotecnología en el diseño de injertos para mejorar vasos sanguíneos dañados, y así mejorar la funcionalidad de las células vasculares e inhibir la trombosis y severas inflamaciones. Asimismo, la reparación de nervios dañados, y la recuperación total de la funcionalidad sigue siendo un desafío en esta área. Una de las últimas tendencias es acoplar sistemas de liberación controlada de moléculas a las estructuras utilizadas para regeneración de tejido o implantes.

Finalmente, el avance en desarrollo de la Nanoingeniería de tejidos va a depender mucho del entendimiento de los mecanismos de las interacciones in vivo entre nanomateriales y las células a nivel molecular.

Detección temprana y diagnóstico de enfermedades

La aplicación de la nanobiotecnología en la detección temprana y diagnóstico de enfermedades es otra de las áreas prioritarias de la nanomedicina, y que necesariamente, debe progresar a la par con los avances en tratamientos para distintas patologías. Es crucial en el éxito de un tratamiento, debido a que la detección precisa de una enfermedad en sus estadios iniciales, a nivel celular o molecular, permite la posterior elección adecuada del tratamiento. Lo que se busca es desarrollar sistemas de análisis y de imagen utilizando nanobiomateriales, que combinen las atractivas propiedades ópticas y eléctricas de los nanomateriales con la capacidad de reconocimiento específico del material biológico, para incrementar la rapidez, la sensibilidad, y la selectividad de los análisis.

Actualmente el diseño de dispositivos para el diagnóstico de enfermedades se encuentra encabezado por el desarrollo de la nano-biosensores, que consta de un receptor biológico (enzima, ADN, anticuerpo, etc.) que se une específicamente al analito, y de un transductor que mide la reacción de reconocimiento biomolecular y la traduce en una señal

cuantificable. Estos nano-dispositivos son capaces de detectar en tiempo real y sin presencia de un marcador, y el hecho de poder realizarlos in vitro, tomando una pequeña muestra, hace que sean desarrollos más tangibles y que probablemente lleguen a ser comercializados a corto plazo, ya que se evitan los problemas de biocompatibilidad de los materiales.

Por otro lado, la utilización de nanopartículas metálicas, semiconductoras o magnéticas como agentes de contraste está en auge debido a la significativa mejora en la detección por imagen in vivo, permitiendo una detección del tejido dañado o tumor con mayor precisión. El ejemplo de aplicación más conocido es el empleo de nanopartículas semiconductoras, conocidas como puntos cuánticos, muy útiles como marcadores biológicos (Figura 4). Estas partículas presentan un interesante comportamiento óptico, de fluorescencia, dependiente con el tamaño de las partículas, por lo que se pueden sintetizar puntos cuánticos de una amplia gama de colores y que, además, presentan bandas de emisión intensas y bien definidas, mejorando la calidad de la imagen. El empleo de nanopartículas para mejorar la imagen por contraste se aplica a resonancias magnéticas, tomografías computadas, imágenes de fluorescencia, etc. y aunque poseen la ventaja de ser técnicas no invasivas, presentan la desventaja de ser costosas, y aun no se sabe con claridad como es el comportamiento de estas nanopartículas en el organismo.

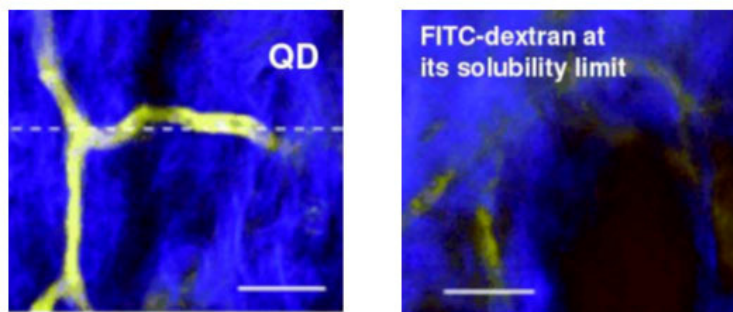


Figura 4: Análisis de imágenes de capilares mediante fluorescencia a través de la piel (profundidad de $\approx 100 \mu\text{m}$). Fotos, izquierda: detección con puntos cuánticos ($1,0 \mu\text{M}$), derecha: detección mediante técnica estándar de fluoresceína acoplada con dextrano. Fuente: Larson y col. (2003). *Science* 300: 1434-1436.

Nanotoxicología

En las últimas dos décadas, el desarrollo en la investigación y en la producción de nanoproductos ha sido increíble, y estamos pasando por una época donde se está empezando a ver cada vez más los resultados en productos comerciales. Sin embargo, este crecimiento debe estar necesariamente acompañado por una investigación más amplia sobre los riesgos e impactos que podrían presentar los nanomateriales tanto para el ser humano como para

animales y el medio ambiente, de mediano a largo plazo. En especial para productos del área de cosméticos, alimentos y medicamentos.

Resulta crucial que ciertos controles de calidad sean estandarizados, debido a que van a favorecer el desarrollo industrial de las aplicaciones nanotecnológicas, y además porque los consumidores lo van a exigir. En este sentido tanto la Unión Europea como los EE.UU. a través de sus organismos regulatorios, Scientific Committee on Consumer Products y la Food and Drug Administration respectivamente, han desarrollado protocolos para la fabricación, uso, reciclaje, y descontaminación de nano-objetos. Sin embargo, todavía no se conocen en profundidad los alcances de estas nuevas tecnologías. Por esta razón, los estudios toxicológicos de los nano-productos es una de las áreas más controversiales del momento, y de mayor importancia a nivel mundial.

Por lo pronto, es necesario redefinir la manera de realizar los análisis de toxicología en muchos casos. Como hemos visto, las propiedades de un material masivo son muy diferentes al del mismo material en escala nano. Un ejemplo sencillo es el caso del oro: en estado masivo el oro es inerte, mientras que su contraparte nanoparticulado depende de su tamaño. Así podemos ver en la figura 5 los cambios en las propiedades ópticas de nanopartículas de oro en función de su tamaño.

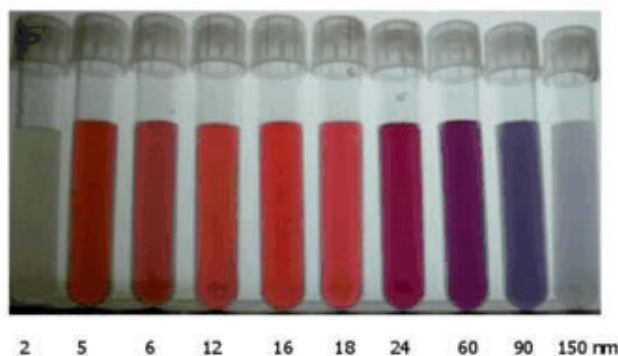


Figura 5: Cambios en las propiedades ópticas de nanopartículas de oro en función de su tamaño.

Fuente:

http://www.malvern.com/LabEng/industry/nanotechnology/gold_silver_nanoparticles.htm

El panorama es en general muy complejo debido a que son muchas las variables que pueden afectar la toxicidad: la forma, el tamaño, la estructura cristalina, el área y carga superficial, el método de manufactura, etc. En vista de estas variables, es claro que los ensayos in vitro tradicionales pueden representar parcialmente el comportamiento real de los nanomateriales, y se hace necesario desarrollar sistemas de in-vivo de detección (e.g. cultivos celulares, modelos biológicos como zebrafisch, Drosophila, etc).

En cuanto al efecto en el medio ambiente quedan planteadas muchas incógnitas sobre como evaluar el ciclo de vida de un nanoproducto, como cuantificar su emisión y cuáles son los efectos en la cadena alimentaria, entre otros.

Conclusiones finales

Se ha llegado a un punto en el cual no existe posible retroceso frente al avance de la nanotecnología y su influencia en nuestras sociedades. Actualmente se encuentran en el mercado de consumo un gran número de productos con base nanotecnológica, y otros productos muy próximos a ser comercializados. Las áreas de mayor aplicación e impacto presente son las industrias automotrices, textil, cosmética y de energía. Sin embargo, todavía quedan muchos desafíos por delante para que en campos como la nanomedicina pueda insertarse en el mercado productivo a gran escala. Es difícil especular con el tiempo a transcurrir para su inserción, pero el auge que están teniendo los nuevos desarrollos en esta área se ven reflejados en incremento exponencial de número de publicaciones científicas y de patentes, con potencial impacto en el corto y mediano plazo.

La nanomedicina se proyecta como una de las áreas con mayor impacto en la sociedad, debido a las importantes mejoras en el cuidado de la salud. Nos ofrece la oportunidad de centrarse en la raíz de la enfermedad, mediante un control a escala nanométrica. Resulta crucial adquirir un mayor conocimiento a nivel molecular, de la topología y de los mecanismos de las interacciones entre los nanomateriales y biomoléculas, o células. Esto va a permitir seguir avanzando en el diseño de estructuras novedosas, como son los nanobiomateriales, y en la capacidad de manipularlos adecuadamente.

Si se desea disminuir el vacío existente entre la fase experimental y la fase clínica de los productos y tecnologías desarrollada, debe establecerse como próxima frontera de la nanotecnología el estudio de la toxicología de estos novedosos nanomateriales. Asimismo, la convergencia entre áreas académicas y empresas que promuevan la inversión en investigación y desarrollo.

La nanomedicina es un campo de alta complejidad teórica, que necesita del trabajo interdisciplinario para abordar problemáticas desde distintos puntos de vista, por lo que requiere también una formación en el área de profesionales de la salud, y la participación de las universidades, los gobiernos y las empresas.

La Ciencia y la tecnología por sí solas no son capaces de resolver mágicamente los problemas de los países en desarrollo pero son componentes esenciales y críticos para el avance de los mismos. Y su correcta implementación permitirá un salto cuali y cuantitativo en los mismos, y en el futuro de la humanidad.

Bibliografía

Castro, G.R. (2010). Nanobiotecnología. Campo promisorio de exploración y desarrollo de nuestras sociedades. Cuadernos alta formación para la integración del Mercosur. Ed. Univ. La Sapienza. Roma, Italia.

Costas L., Pera L.M., Gómez López A., Mechetti M., Castro G.R. (2012). Controlled release of sulfasalazine release from "smart" pectin gel microspheres under physiological simulated fluids. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 167:1396–1407.

Gago, J.A.M. (Ed.) (2009). Nanociencia y nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro. FECYT, Madrid, España.

Goodsell D.S. (2004). Bionanotechnology, lessons from nature. J. Wiley and Sons.

Larson D.R., Zipfel W.R., Williams R.M., Clark S.W., Wise F.W., Webb W.W. (2003). Water-soluble quantum dots for multiphoton fluorescence imaging in vivo. *Science* 300: 1434-1436.

Pakrovsky A., Smith A. (2010). Nanotecnología y cómo afectará al mundo.

Soler Illia, G.J.A.A. (2009). Nanotecnología, el desafío del siglo XXI. EUDEBA, Buenos Aires, Argentina.

Zhang L., Webster T.J. (2009). Nanotechnology and nanomaterials: Promises for improved tissue regeneration. *Nanotoday* 4:66-80.



ISSN 1666-7948

www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar

Revista **QuímicaViva**

Número 3, año 11, Diciembre 2012

quimicaviva@qb.fcen.uba.ar