

Cuadernos Alta Formación para la Integración  
Cadernos Alta Formação para a Integração

## **Nanobiotechnología**

Campo promisorio de exploración y  
desarrollo de nuestras sociedades

**Guillermo R. Castro**



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA



Cuadernos Alta Formación para la Integración

Cadernos Alta Formação para a Integração

Mercosur.it  
Mercosul.it

# **Nanobiotechnología**

Campo promisorio de exploración y  
desarrollo de nuestras sociedades

**Guillermo R. Castro**



# Índice

## Cuadernos de Alta Formación Mercosur.it

### **Nanobiotechnología**

Campo promisorio de exploración y desarrollo  
de nuestras sociedades

Guillermo R. Castro

1. Introducción	05
2. Breve reseña histórica	08
3. Modelos y propiedades	11
4. Aplicaciones de la nanotecnología en uso y potenciales	13
5. Nanobiotechnología	15
6. Campos de aplicación de la nanobiotechnología	19
7. Tendencias futuras	21
8. Conclusiones finales	22
Referencias, agradecimientos y notas	23



## INTRODUCCIÓN

La humanidad a través de su historia ha realizado profundas transformaciones mediante el desarrollo del conocimiento y la implementación de tecnologías que han modificado las conductas individuales y colectivas de manera irreversible. Desde la etapa que se considera como inicio de las primitivas sociedades humanas, aproximadamente 6.000 años A.C., a nuestros días podemos mencionar cuatro grandes procesos tecnológicos revolucionarios cuyos límites en el tiempo son difusos, y se encuentran solapados en alguna medida. Ellos son: la revolución agrícola, que cimentó el establecimiento de sociedades sedentarias a partir de culturas nómades sobre la base de resolver necesidades humanas básicas de los primitivos grupos de individuos. Estos grupos fueron los que se constituyeron progresivamente en los primeros núcleos sociales humanos y el período de la revolución agrícola alcanza hasta aproximadamente hasta 1750. En esa década y debido a la invención de la maquina a vapor y la fabricación de acero a gran escala, se inicia la segunda gran transformación de la humanidad, la denominada revolución industrial, la cual finaliza aproximadamente en la década del 70. La revolución industrial comienza con el advenimiento de la maquina a vapor, y entre sus industrias más representativas se encuentran la del petróleo, los ferrocarriles, la textil, y la automotriz. En el proceso de revolución industrial, la transformación se produce sobre la necesidad de masificar manufacturas y productos a gran escala. El fundamento de la revolución industrial está basado en la abundancia de materiales (e.g. materias primas y parcialmente procesadas) y en la implementación y desarrollo de sistemas tecnológicos continuos para la producción y transporte de bienes y servicios. El tercer período es la revolución que podríamos de-

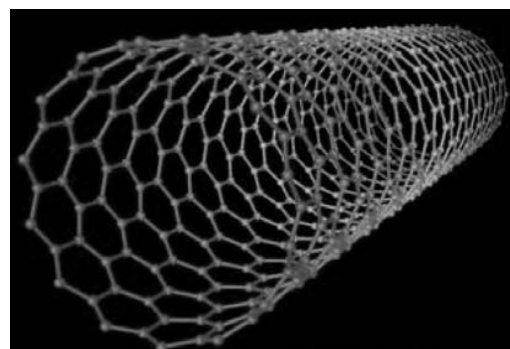
nominar Tecno-Bio, que involucra a las tecnologías informáticas y la biotecnología. La revolución Tecno-Bio se inicia a finales de la década de los años 30 y 50 respectivamente, pero recién alcanzaron un desarrollo exponencial a mediados de la década del 70. Se puede afirmar que es un híbrido productivo entre la revolución industrial y nanotecnológica debido a que continúa la producción a gran escala de productos manufacturados, pero se incorpora a ellos una mayor sofisticación tecnológica. Además, marca el comienzo de la personalización de los productos de acuerdo a grupos socio-económicos, etc... Ejemplos de esta revolución son la transferencia y almacenamiento de la información, sumado al efecto de la transformación de las comunicaciones (teléfonos celulares, computadores e Internet), los cuales están produciendo en nuestros días significativos cambios en los aspectos productivos, del conocimiento, económico-sociales y culturales. Estos hechos han conducido a una fuerte interrelación de nuestras sociedades locales cuya tendencia se manifiesta en la denominada "aldea global" (Mc Luhan y Powers, 1989). Por otro lado, la biotecnología ha producido modificaciones sustanciales de nuestros hábitos, principalmente en las áreas del conocimiento, alimentos y salud. Las aspiraciones teóricas de la revolución informática-biotecnológica son alcanzar objetivos intelectuales deseados por el conjunto de la sociedad y obtener un mayor aprovechamiento de los recursos naturales, cada vez mas escasos. Este proceso se supone continuará hasta aproximadamente el año 2025. Por ultimo, el cuarto proceso revolucionario es el surgimiento de las nanotecnologías.

Se podría definir en forma genérica que el objeto de la Nanotecnología es el estudio, diseño, desarrollo y aplicación de materiales, equipos y sistemas de estructuras na-

turales como artificiales en escala muy pequeña: nanométrica. Como puede deducirse a partir de esta definición genérica, la nanotecnología es un campo de altamente multidisciplinario en donde converge una gran cantidad de conocimiento básico y aplicado generado en diversas áreas del conocimiento como son la física, química, biología e ingeniería. La convergencia de estos campos del conocimiento ha llevado al surgimiento de técnicas novedales para la producción de materiales y a la introducción de tecnologías previamente inexistentes. Las revoluciones industrial y nanotecnológica pueden diferenciarse entre sí por los conceptos teóricos empleados en el uso y diseño de los materiales, basado principalmente en las dimensiones de los objetos producidos, la complejidad y el enfoque sobre el conocimiento. En general puede afirmarse que los desarrollos de la revolución industrial apuntaban al uso extensivo de materiales sencillos y/o simples, y con un enfoque esencialmente empírico para la creación de estructuras masivas y cada vez con mayor complejidad estructural. Entre los ejemplos de los grandes símbolos del periodo industrial se pueden considerar a los rascacielos, aviones y barcos. Los mismos han sido producidos-construidos cada vez con mayor tamaño, con mayores capacidades de habitabilidad, almacenamiento, transporte, etc.... La frase con que se ha sintetizado el período industrial es: "grande es mejor" (*big is better*). Muy por el contrario, el enfoque de la revolución nanotecnológica se basa en la miniaturización de los objetos mediante la creación de nuevos y sofisticados materiales híbridos y con propiedades novedales que puedan ser usados en procesos o sistemas. Razón por la cual podríamos análogamente expresar "lo pequeño es lo mejor" (*small is the best*). El modelo nanotecnológico se fundamenta en el uso intensivo de materiales mediante una aproximación racional basada en el conocimiento científico de las propiedades

a nivel molecular de los componentes individuales. En general, los objetos surgidos de procesos nanotecnológicos son imperceptibles al ojo humano por su tamaño, pero capaces de producir profundos cambios de los hábitos socio-culturales y económicos de las sociedades. El ejemplo que marca la tendencia de la revolución nanotecnológica desde sus inicios son los procesos de miniaturización reflejados en las cada vez mayores y más complejas prestaciones de equipamiento electrónico como ser computadoras, teléfonos celulares y los televisores de cristal líquido (LCD).

Para analizar en mayor detalle el desarrollo de los procesos nanotecnológicos debemos hacer una consideración respecto del tamaño de los objetos en estudio, los cuales son extremadamente diminutos. Tomemos por ejemplo una pelota de fútbol, la cual mide aproximadamente 30 cm (o sea  $3 \times 10^{-1}$  metros) de diámetro; si la pudiéramos reducir 10.000 veces llegaríamos a alcanzar el tamaño del diámetro de un cabello humano, que corresponde a unos 30 micrones ( $3 \times 10^{-5}$  metros). Si a su vez, redujéramos el diámetro del cabello otras 10.000 veces mas, podríamos obtener el diámetro una partícula manométrica, como por ejemplo un nanotubo de carbón de 3 nanómetros ( $3 \times 10^{-9}$  metros) (Figura 1). Actualmente es considerado que las nanotecnologías cubren un intervalo dimensional estricto comprendido entre 1 a 100 nm aproximadamente, sin embargo se acepta regularmente como tal hasta un intervalo comprendido entre los 200 a 300 nm.



**Figura 1.** Nanotubo de carbón con estructura zigzag.



A nivel molecular lo podríamos describir teniendo en cuenta que aproximadamente 1 nm ( $1 \times 10^{-9}$  metros) es la distancia media que existe entre cinco átomos vecinos de cualquier sólido que podamos observar en nuestro mundo cotidiano.

Considerando sus potenciales aplicaciones al presente, podemos predecir que el crecimiento de las nanotecnologías se observará a lo largo de tres campos centrales:

I. El primer campo es el área de los objetos tangibles, aunque mayormente imperceptibles al ojo humano por sus dimensiones, los cuales que serán de mayor complejidad estructural y funcional. Entre ellos, se deben mencionar nuevos materiales, equipos y sistemas con usos múltiples y mas diversos. En muchos de los casos, podrán ser objetos tangibles híbridos, los cuales poseerán estructuras surgidas de los procesos de la revolución y post-revolución industrial con desarrollos y diseños nanotecnológicos de última generación.

II. El segundo campo esta determinado por objetos denominados nano-sistemas productivos, los cuales son responsables de producir con muy alta precisión nanodispositivos pasivos y activos. Entre los pasivos podemos englobar nanogeles, nanopartículas, los cuales podrán poseer la misma composición química, pero diferentes propiedades considerando su pequeño tamaño. Entre los activos, que poseen propiedades dinámicas se pueden mencionar los transductores de energía, y/o almacenamiento de grandes volúmenes de información. En ambos casos, se requiere el desarrollo de sistemas de alta precisión para su manufactura, denominados "manufactura atómica precisa" (PAM por sus siglas en inglés).

III. El tercer campo abarca las denominadas nanotecnologías directas, indirectas y las conceptuales. Las nanotecnologías directas involucran el uso de materiales e-

structurados a escala manométrica, y/o equipos conteniendo componentes nanométricos. Las nanotecnologías indirectas involucran el agrupamiento y funcionamiento de equipos de vanguardia tecnológica conteniendo componentes de nano-escala, como por ejemplo los denominados super-procesadores para computadoras de alto poder basadas en la integración de un gran número de chips conteniendo componentes nanométricos. Y por último, la nanotecnología conceptual, que involucra del empleo de desarrollos y diseños nanotecnológicos originados en algún campo del conocimiento y transferidos a otro con el objetivo de lograr una mejor prestación y/o desarrollo de un sistema o proceso.

Se debe mencionar, que la combinación de dos o más materiales con diferentes propiedades para obtener un producto híbrido compuesto que posea propiedades de los componentes individuales no es un hallazgo tecnológico novedoso, es mas, es un concepto tecnológico utilizado al menos desde la edad de bronce (e.g. aleaciones de metales para la realización de instrumentos). Sin embargo, se debe resaltar que la mayoría de estos materiales compuestos han surgido de manera empírica, mediante prueba y error, y no por desarrollo sistemático basado en el conocimiento lógico de sus propiedades elementales. Muy por el contrario, la nanotecnología permite obtener novedosos materiales híbridos mediante una aproximación racional empleando el conocimiento basado en las propiedades fisicoquímicas de los componentes, a niveles moleculares, atómicos y subatómicos.

## BREVE RESEÑA HISTÓRICA

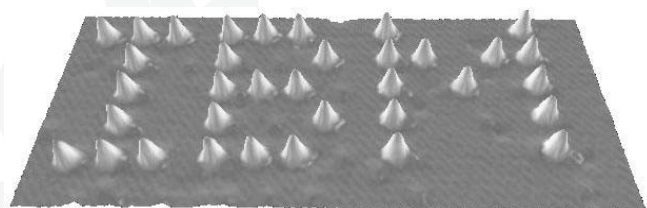
**A**lgunos de los mayores logros de la breve historia de la revolución nanotecnológica se describen a continuación, sin embargo se debe mencionar que ésta no pretende ser una lista detallada y exhaustiva, sólo una breve introducción marcando algunos de los hitos históricos mas relevantes. Y es debido aclarar, que los avances de ésta área de las Ciencias se encuentran en la frontera de los desarrollos científico-tecnológicos presentes.

El concepto primigenio de nanotecnología fue presentado en 1959 por el físico Richard Feynman en una conferencia titulada *There's Plenty of Room at the Bottom* (literalmente traducido como "Existe mucho espacio en el fondo") disertada en Caltech (California, EE.UU.). En su conferencia, el Dr. Feynman planteó la idea de manipulación directa de átomos y moléculas en un futuro cercano (Feynman, 1961; su conferencia puede leerse en detalle en el sitio web: <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>). Sin embargo, la manipulación de átomos y moléculas en esa época era de carácter meramente teórico y especulativo, debido a que no existían las metodologías, ni el equipamiento que posibilite el manejo físico de una escala tan pequeña. El Dr. Feynman recibió el premio Nobel de física en 1965 por su contribución pionera en el campo de la Nanotecnología.

Luego de la conferencia del D. Feynman, varios grupos de investigación alrededor del mundo comenzaron a realizar trabajos en esta área, principalmente vinculados a la electrónica, en donde el concepto de miniaturización había ganado fuertes adeptos en la industria. Pero no fue sino hasta 1981, cuando la nanotecnología comienza a tomar consistencia definida con los desarrollos de los investigadores Gerd

Bining y Henrich Rohrer pertenecientes al laboratorio de investigaciones de IBM en Zurich, Suiza, los que diseñaron el Microscopio de Túnel de Barrido (Scanning Tunneling Microscope o STM) que permitía por primera vez observar y desplazar átomos. El principio del STM se fundamenta en aplicar un campo eléctrico concentrado en una muy pequeña punta del microscopio (tip) que posibilita acercarse a distancias ínfimas del objeto en estudio y permite mover átomos individualmente, los cuales pueden adoptar una forma deseada. Por éste desarrollo, Bining y Rohrer obtuvieron el Premio Nobel de Física en 1986.

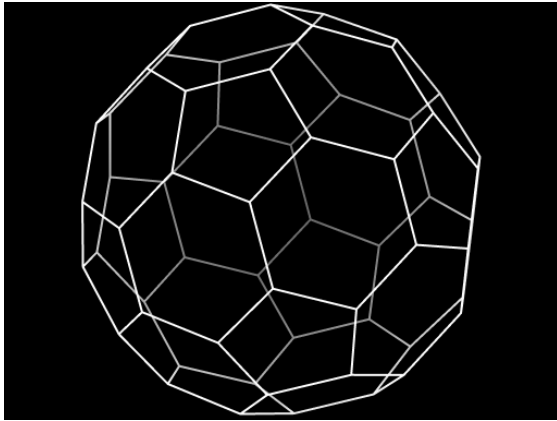
Continuando con esa labor en 1989, Don Eigler, investigador perteneciente al Centro de investigaciones de Almaden (IBM, California, EE.UU.) logró formar con 35 átomos del gas Xenón a muy bajas temperaturas las letras de IBM (Figura 2).



**Figura 2.** Átomos de Xenón ordenados formando la palabra IBM mediante un STM a muy bajas temperaturas.

En 1985, y mediante un trabajo en colaboración entre los doctores Smalley, Curl y Kroto, de las Universidades de Rice (EE.UU.) y Sussex (Inglaterra) respectivamente, realizaron un importante hallazgo: sintetizar moléculas poseen un ordenamiento esférico compuesto de 60 átomos de carbono con un diámetro promedio de 0.7 nanómetros, los que denominaron fullerenos (Buckminsterfullerenes también conocidos como *bucky balls*, (Figura 3). Y posteriormente, continuando con sus investigaciones, el mencionado grupo logra desarrollar un sistema pa-

ra fabricar nanotubos de carbón a gran escala lo que permitió por primera vez poseer material nanotecnológico a granel, tanto para usos en investigación como comerciales.

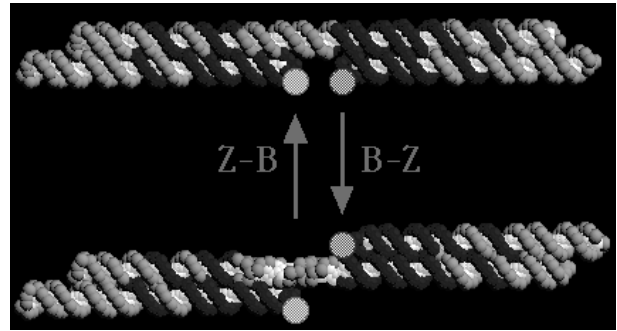


**Figura 3.** Modelo de fullereno C60. Compuesto por átomos de carbono unidos covalentemente con estructura esférica.

Continuando con este tipo de trabajos, en 1993 los investigadores Warren Robinett (Univ. of North Carolina, EE.UU.) y R. S. Williams (Univ. of California, EE.UU.) diseñan un sistema para acoplar a un microscopio de túnel de barrido (STM) que permitió por primera vez observar e interactuar en forma directa con átomos.

En el año 2000, científicos de la Oxford University (Inglaterra) en conjunto con personal de las compañías Lucent y Bell (EE.UU.), demostraron la convergencia de la biotecnología y la nanotecnología al desarrollar el primer motor de constituido por material biológico (ADN, ácido desoxiribonucleico) (Figura 4).

Como puede observarse en la Figura 4, el "motor" de ADN consiste simplemente en una rotación de la molécula en trono a uno de sus ejes (la cadena continua de ADN) determinada por la presencia de un efector adicionada al medio. En este caso, la rotación fue mediada por un cambio en la concentración de sales de cobalto en solución, lo que produce un cambio en la longitud de la cadena en 0,6 nm.



**Figura 4.** Cambios de conformación de una molécula de ADN debido al cambio de la concentración de sales de cobalto. A altas concentraciones de sal la molécula de ADN tiende a la conformación tipo Z, mientras que a baja concentración de sal se encuentra favorecida la conformación tipo B (Fte. Mao y cols., 1999).

En el año 2001 investigadores de la Universidad de Delft (Holanda) e IBM (EE.UU.) desarrollaron circuitos lógicos para computadoras a nivel nanométrico empleando nanotubos de carbón. Al año siguiente, y continuando con las investigaciones en IBM, fue demostrado la posibilidad de acumular en el tamaño de una estampilla postal de correos la increíble cantidad de 25 millones de páginas impresas de textos (aproximadamente 100 Gigabites).

Las sucesivas investigaciones y desarrollos han permitido que a la fecha podamos contar con nanomateriales que de manera genérica pueden describirse como:

a.- Nanopartículas. En un sentido amplio, se consideran nanopartículas a aquellas con dimensiones menores a 10-20 nm, límite al cual sus propiedades físicas correspondientes a materiales sólidos se modifican drásticamente, como la conductividad eléctrica, absorción de luz y la temperatura de fusión. Se debe tener en cuenta además, que las definiciones de nanopartículas son dependientes del material usado, campos y aplicaciones en las que se plantean los desarrollos.

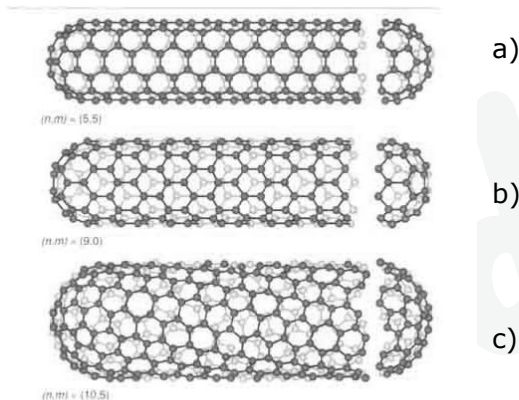
b.- Nanocristales. Los nanocristales han atraído durante varias décadas la atención de físicos y químicos debido a sus propiedades a nivel cuántico. Una de las

propiedades características que poseen es que el color que emiten los nanocristales semiconductores de una composición determinada es función de su diámetro. Desde el punto de vista físico cuántico ello se debe a que un par de electrones del nanocristal se encuentra confinado a un espacio menor al de un electrón, y por lo tanto sujeto a los niveles cuánticos de energía, los cuales son discretos, por lo que se han denominado "puntos cuánticos" (Quantum dots en idioma Inglés).

c.- Nanotubos de carbón. Son tubos de carbón a escala molecular compuesto por multicapas grafito de diversas geometrías cuyo largo promedio oscila entre 2 a 100 nm, y con un diámetro interno comprendido entre 0,4 a 2,0 nm. A su vez, la geometría de la estructura del nanotubo es condicionante de sus propiedades físicas (Figura 5).

del nanotubo de carbón como semiconductor o metálico es relevante para la construcción de dispositivos electrónicos a nivel molecular. Otra de las destacables propiedades de los nanotubos de carbón es que son 1.000 veces más resistentes que el acero.

d.- Otros desarrollos nanotecnológicos que se encuentran en nuestra vida cotidiana son los Sistemas Micro Electro-Mecánicos (comúnmente denominados MEMS en idioma Inglés). Los MEMS son sistemas miniaturizados que contienen simultáneamente circuitos electrónicos y sistemas mecánicos, están montados en un chip de silicio.



**Figura 5.** Diferentes estructuras de nanotubos de carbón. Los dos primeros poseen una alta simetría y son conocidos como brazo de silla (a) y zig-zag (b); el tercero (c) se lo conoce como quiral (debido a que posee una imagen especular antisimétrica).

Así por ejemplo, los nanotubos de carbón de denominados "apoya brazo" (o arm chair por su denominación en Inglés) son conductores de electricidad (metálicos), mientras que los designados como tipo zig-zag y quirales pueden comportarse como metálicos o semiconductores. Esta posibilidad de comportamiento variable

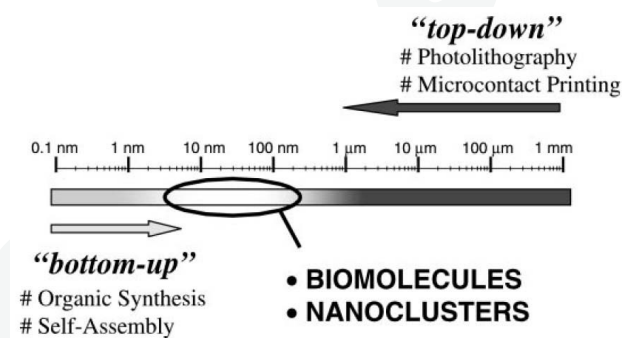


## MODELOS Y PROPIEDADES

De los descubrimientos mencionados anteriormente han surgido dos aproximaciones fundamentales para el desarrollo de los objetos producidos por la nanotecnología. El primer enfoque, se basa en la idea del auto-ensamblado. O sea estructuras que individualmente carecen de función pero que pueden adoptar formas y estructuras definidas en conjunto para realizar un funcionamiento específico (Drexler, 1986). Los procesos de autoensamblado son producidos mediante la formación de complejos moleculares establecidos, los que poseen una elaborada funcionalidad derivada de las propiedades características intrínsecas de sus grupos funcionales (químicos). Y La interacción entre los complejos moleculares es producida por una asociación espontánea de sus elementos discretos y ordenados de determinada manera. De forma general, la asociación de estructuras moleculares para producir ensamblados es un proceso secuencial, ordenado y complejo en donde intervienen factores intrínsecos y extrínsecos. La alta afinidad y especificidad entre los componentes moleculares es determinante para la formación de estructuras mediante procesos secuenciales de reconocimiento molecular e interacciones, autoensamblado, que conduce a la formación de estructuras de mayor complejidad: "maquinas" a escala nano. La aproximación teórica del cual se ha desarrollado éste modelo se ha fundado en la observación de los mecanismos de ensamblado de las estructuras virales. El modelo es comúnmente denominado bottom-up, y ha sido ampliamente usado en la denominada electrónica molecular y biomolecular.

El otro modelo, implica exactamente una aproximación de desarrollo contraria en el sentido de la escala, parte de la idea

de modificar un objeto de tamaño micro llevándolo a escala nano: "esculpiéndolo", y se denomina comúnmente Top-down. El requerimiento específico para el desarrollo de esta técnica se basa en poseer maquinaria ultra-precisa. El ejemplo clásico de este modelo es la fabricación de semiconductores, así como el desarrollo de técnicas la fotolitografía y la impresión por micro-contacto. En la figura 6 se detallan los alcances físicos de ambas técnicas y como puede observarse existe una brecha entre ambas que debe ser salvada, para ello se postula actualmente que son los arreglos supramoleculares y de síntesis química los encargados de cubrir esa distancia.



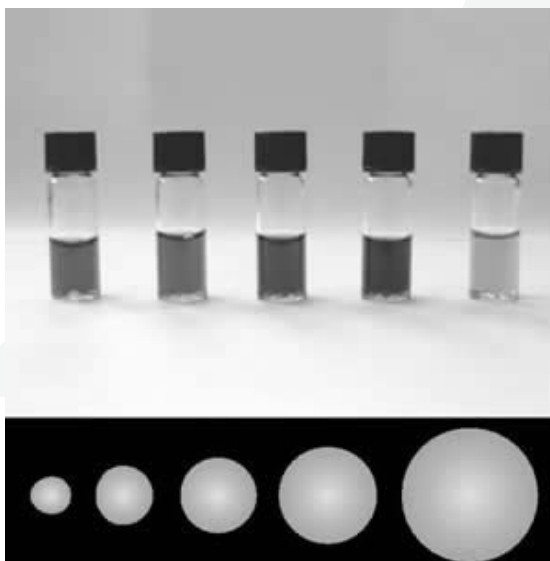
**Figura 6.** Modelos empleados en el desarrollo de objetos nanotecnológicos (Niemeyer, 2001).

Actualmente los desarrollos nanotecnológicos a escala industrial y en fase de producción combinan ambos tipos de aproximaciones.

Se considera a la nanotecnología como una nueva área del conocimiento que generará grandes transformaciones, ello es debido a que las propiedades de los objetos materiales creados por ésta tecnología son y serán totalmente diferentes a las del mundo micro o macro al que estamos acostumbrados. Una de las causas es que el comportamiento de los nanosistemas es que no se rige por las leyes fisicoquímicas clásicas del mundo macro al que

estamos acostumbrados, sino por las leyes de la mecánica cuántica de partículas desarrollada a principios del siglo XX por científicos de la talla de Planck, Einstein, Bohr, Fermi, Dirac y Schrödinger, entre otros. Es así que las fuerzas de inercia y gravedad son insignificantes a nivel de nano-escala, de igual manera la masa, asimismo las propiedades físicas (mecánicas, eléctricas y magnéticas, etc...) de los materiales a escala nanométrica se modifican de manera significativa permitiendo descubrir nuevas aplicaciones tecnológicas impensables con los materiales a nivel macro. Así por ejemplo, los efectos de la temperatura, y el medio ambiente sobre los nanomateriales son muy significativos. La temperatura afecta al comportamiento de los nanomateriales debido a que modifica las propiedades a nivel molecular (niveles energéticos, estructuras vibracionales, etc...). Por otro lado, la composición y estructura del medio ambiente también posee un efecto significativo en los nanomateriales debido a que puede afectar el grado de hidratación, el plegamiento y la flexibilidad de estructuras moleculares complejas determinando así sus propiedades y actividad.

Un ejemplo de ello es el efecto en las propiedades físicas (ópticas y térmicas) que produce el cambio de diámetro de nanopartículas de oro (Figura 7). Este tipo de nanopartículas de oro han sido ensayadas en terapias oncológicas para la destrucción fototérmica de tumores sólidos con resultados promisorios (Lu y col., 2009).



**Figura 7.** Nanopartículas de oro de diferente diámetro en suspensión. El diámetro de la partícula determina la longitud de onda absorbida y por lo tanto el color de las soluciones (fte. <http://www.webexhibits.org/>).

## APLICACIONES DE LA NANOTECNOLOGÍA EN USO Y POTENCIALES

Las posibilidades de aplicaciones de las nanotecnologías en nuestras vidas son tan variadas como los objetos que circundan nuestra cotidianidad, ello es debido a que el fundamento de los desarrollos nanotecnológicos se basan alterar las interacciones a niveles moleculares y atómicos de la estructura de la materia.

Actualmente la nanotecnología es capaz de proveer nano-estructuras metálicas, magnéticas y semiconductoras como nanopartículas, nanohilos y nanotubos con propiedades catalíticas, eléctricas, y ópticas definidas, las cuales son además tamaño-dependientes.

Se pueden mencionar y de manera no excluyente el uso de nanotecnologías en el desarrollo de pinturas resistentes a la corrosión, adhesión y altas temperaturas (para ser usadas en barcos satélites y naves espaciales), y a la luz UV mediante el agregado de nanopartículas inertes y/o foto-activas (cristales foto-sensibles). En medicina, partículas nano-cristalinas de plata se emplean para evitar la proliferación de microorganismos patógenos en heridas. En la producción de hilados y telas mediante el agregado de nano-cabellos y nanopartículas para hacerlos que no posean afinidad por el agua (hidrofóbicos), y por lo tanto resistentes a salpicaduras y manchas, los que actualmente se usan en la fabricación de ropa. Otro uso es suplementar hilados con nanopartículas de plata en tejidos para destruir bacterias productoras de olores (por ejemplo en zapatillas deportivas). Hilados con estructuras nanoporosas para evitar pérdidas de calor utilizadas en prendas empleadas a bajas temperaturas. En la industria alimentaria se emplean actualmente materiales nanocompuestos cerámicos como barrera para evitar el intercambio de gases (oxígeno y dióxido de carbono) en envases conte-

niendo alimentos (botellas, cajas de cartón, etc...). Asimismo, nanopartículas de plata para destruir microorganismos en alimentos envasados.

Los Sistemas Micro Electro-Mecánicos o MEMS (por sus siglas en Inglés) se emplean comúnmente en los airbags de los autos como sensores de velocidad para provocar su eyección ante una brusca frenada, también se usan las pantallas de televisores como protectores, en los cabezales de impresoras a chorro de tinta como reguladores de caudal, y como sensores de presión en aplicaciones medicas.

Otras aplicaciones en las que se usan nanopartículas de diferente composición son los protectores solares, cosméticos (cremas, lápices labiales, desodorantes y shampoos), vidrios fotosensibles, colorantes para jugos de fruta sintéticos.

A su vez, entre las continuas investigaciones en nuevas y potenciales de la nanotecnología podemos destacar:

⌘ En Electrónica, el empleo de nanohilos permitirá tener pantallas de cuarzo líquido (LCD) flexibles. Mediante nanotubos de carbón emisores de electrones se podrán tener paneles autoemisores (autoiluminados), circuitos integrados de tamaño nanométricos, chips de memoria de 200 Gigabites por centímetro cuadrado para computadoras, y se preve el desarrollo de transistores de tamaño molecular con entradas de 1 nm. Empresas como IBM, Intel, HP, Nanochip, Motorola y Nanoscale se encuentran trabajando en la actualidad sobre éste tipo de desarrollos.

⌘ En energía, existen varios potenciales campos de aplicación como es el desarrollo de celdas solares y baterías más pequeñas, menos contaminantes y de alta eficiencia, así como la aplicación de catalizadores nanoestructurados para la producción de combustibles a partir de desechos vegetales industriales y domiciliarios.

⌘ En contaminación ambiental del aire, la contribución de la nanotecnología esta basada en la creación de filtros y sistemas filtrantes con nanocomponentes y catalizadores más eficientes capaces de capturar y/o convertir productos tóxicos y reducir las emisiones adversas de dióxido de carbono en vehículos.

⌘ En contaminación ambiental de aguas se proponen diversas alternativas como el desarrollo de nano-sistemas para captura y/o degradación y/o destrucción de compuestos tóxicos específicos (metales pesados, biocidas, etc...) microorganismos patógenos y virus, como nanotubos, matas de nanohilos con propiedades definidas para cada caso en especial.

⌘ En la industria textil se está explorando la fabricación de hilados y ropa en general con propiedades especiales como protectoras contra agentes químicos peligrosos empleando nanofibras de poliuretano, ropas como acumuladores de energía solar para uso en telefonía celular y radios portátiles, y en el desarrollo de chalecos antibala livianos empleando nanotubos.

⌘ En Medicina, se pretende administrar puntos cuánticos (Q-dots por sus siglas en inglés) para tratamientos de tumores sólidos como fuera descrito anteriormente; nanopartículas para liberación controlada de fármacos de alta toxicidad en las zonas u órganos específicos (evitando de esta manera efectos deletéreos en el organismo), y también para diagnóstico específico de células infectadas o aberrantes. Asimismo, en medicina regenerativa para la reparación de fracturas y/o fisuras de huesos, así como en reparación de músculos.

⌘ En tecnología de alimentos, se busca desarrollar alimentos funcionarizados, o sea suplementados para obtener productos de mayor valor nutricional, o prevenir potenciales patologías debido a deficiencias nutricionales y/o curar o asistir en el tratamiento de alguna patología en parti-

cular. Asimismo se desea estabilizar componentes lábiles de los alimentos que ya sea por almacenamiento, efecto del oxígeno del aire y/o luz ambiental, y/o procesos oxidativos durante su cocción se deterioren. Un ejemplo típico son las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) que se adicionan a los envoltorios plásticos de los alimentos para prevenir el crecimiento microbiano (bacteriostáticos) y el efecto deletéreo de la luz UV sobre los mismos.

Otras aplicaciones posibles en alimentos, es la trazabilidad de su producción y las condiciones de almacenamiento mediante nanopartículas conteniendo indicadores de humedad, y temperatura, e inclusive para la detección de bacterias patógenas u otros potenciales contaminantes para su uso en alimentos perecederos.

Además podemos considerar la posibilidad de incrementar las propiedades sensoriales de los alimentos como la palatabilidad, aroma, color y sabor de los alimentos procesados, ya sea mediante nanodispositivos inteligentes o temporales.

Una interesante posible aplicación en cultivos de uso agrícola es la detección de metabolitos de interés alimentario que sea producido en algún estadio de la planta, lo que podría determinar la cosecha o no del cultivo. De igual manera, la cantidad de agua en el tejido mediante nano-sensores determinando los intervalos de riego de los cultivos.

⌘ Un área de particular importancia por la diversidad de sus potenciales aplicaciones son los Sistemas Micro Electro-Mecánicos (MEMS) y de con biomoléculas (Bio-MEMS). Se ha pensado el uso de MEMS como aceleradores en los juegos de computadoras, desarrollo de micrófonos resistentes al calor, giróscopos en equipos de uso industrial, osciladores integrados en reemplazo de los actuales de cuarzo, en implantes como medidores miniaturizados para monitorear de manera constante la presión arterial.



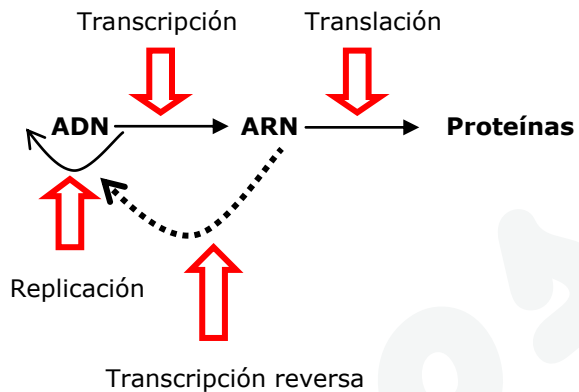
## NANOBIOTECNOLOGÍA

Existen más de 10.000 diferentes estructuras moleculares de diversa complejidad en su organismo que le están permitiendo leer, descifrar, asociar e interpretar las palabras que Ud. se encuentra leyendo. Estas estructuras moleculares y supramoleculares funcionan de manera conjunta y sincrónica, en donde cada átomo de cada molécula ocupa una posición espacial y temporal definida en su organismo. Desde un punto de vista mecanicista estas son verdaderas y extremadamente complejas nanobio-máquinas. Estas nano-bio máquinas actúan de una manera totalmente concertada para desarrollar los complejos procesos que denominamos vida. Y es en los organismos vivos en donde se expresa la mayor complejidad y variedad de mecanismos hasta ahora descubierta. De aquí surge la posibilidad de todo un nuevo campo de investigación y desarrollo incipiente: la Nanobiotecnología.

La nanobiotecnología se puede considerar como una gran área derivada de la nanotecnología e inspirada en los mecanismos de la fisiología celular y molecular sobre la cual se desarrolló la línea de pensamiento de autoensamblado molecular (bottom-up). Si consideramos las estructuras químicas básicas de todas las formas biológicas podemos decir que este se encuentra construido mediante uniones covalentes entre átomos originando a las moléculas y contenidos en un sistema autoreplicativo denominado célula.

Brevemente, podemos clasificar los componentes celulares desde un punto de vista estructural en ácidos nucleicos (ADN o ácido desoxiribonucleico, y ARN o ácido ribonucleico), proteínas, polisacáridos y lípidos. Además existen moléculas híbridas que poseen mas uno de estos componentes básicos mencionados con fun-

cionalidades específicas en la célula. De manera general, podemos mencionar que el mecanismo celular que rige todas las formas de vida se fundamenta en el denominado dogma Central de la Biología Molecular (figura 8).



**Figura 8.** Dogma Central de la Biología Molecular

Los ácidos nucleicos son los encargados de almacenar la información genética y transmitirla a nuestra descendencia. En particular, en las células de mamífero, el responsable de contener la información genética es el ADN, quien esta constituido por dos cadenas antiparalelas que giran sobre si mismas sobre eje virtual ubicado entre ambas (véase figura 4). Se debe notar que la distancia entre las dos hebras de la molécula de ADN es cercana a un nanómetro, mientras que la longitud del ADN es variable y en los seres humanos alcanza aproximadamente la longitud de 1,75 metros. Como puede deducirse, el ADN se encuentra altamente compactado dentro de la célula, considerando que su tamaño fluctúa entre uno a dos micrones para las células microbianas y hasta 150 micrones de los óvulos humanos. De esta manera debemos destacar que la expresión del material genético se produce a escala nanométrica y de un modo coordinado mediante mecanismos

de alta complejidad. En estos mecanismos, la información genética de una célula se expresan mediante la transcripción del ADN en ARN y posteriormente la información es traducida por los ribosomas en donde se realiza la síntesis de proteínas. La manipulación de la información almacenada en los ácidos nucleicos ha permitido la creación de organismos manipulados genéticamente y proteínas artificiales. Todo este mecanismo celular es altamente regulado en las distintas etapas de expresión génica. Y a su vez, para que la maquinaria celular funcione correctamente debe producirse una sincronización de las moléculas intervinientes en cada etapa, y ello se produce como resultado de la interacción entre moléculas en un nivel de estructuración superior que se denomina química supramolecular, y en donde las interacciones entre moléculas diferentes varían porque dependen de la estructura y función de las mismas, y de su localización intracelular. Un ejemplo sencillo son nuestros órganos sensoriales: somos capaces de distinguir diversos aromas y sabores, lo que implica la interacción de una molécula (sustrato) con un receptor específico, lo cual genera una señal específica en nuestras terminales nerviosas mediante un mecanismo de transducción. Este tipo de estructuras supramoleculares complejas son la base de los procesos de autoensamblado y fundamento de la nanobiotecnología.

Sin embargo, es interesante considerar que algunas de las estructuras celulares mayores no están compuestas por moléculas de alto peso molecular, por el contrario son pequeñas, y son los lípidos, las moléculas constituyentes de las membranas biológicas. Los lípidos poseen un esqueleto carbonado con un grupo polar (con afinidad por medios acuosos) y otro apolar en ambos extremos de la molécula, esta característica bifuncional permite

que las moléculas se agreguen entre sí mediante interacciones químicas de tipo débil en forma globular dando lugar a las membranas celulares y a otras funcionalidades celulares de importancia.

Debemos destacar que la membrana celular no es sólo una barrera física de la célula sino una estructura semipermeable que sirve para incorporar nutrientes en la célula y eliminar desechos mediante estructuras especializadas de nominadas transportadores, así como detectar cambios ambientales y establecer sus comunicaciones con otras células y tejidos.

Otro de los componentes celulares de gran relevancia en el metabolismo celular son los polisacáridos. Estas moléculas están compuestas por la polimerización de azúcares, y las uniones entre los monómeros (unidades de azúcares) y tipo de molécula determinan su funcionalidad, que puede ser desde cumplir un papel estructural (como la celulosa), de almacenamiento de energía (glucógeno, almidón), de protección contra la deshidratación (xantanos, alginatos).

La estructura y grupos funcionales presentes en los polisacáridos determinan el tiempo de interacción entre sus moléculas y con otras (como las proteínas) o el agua, formando estructuras con características definidas que pueden ser usadas como "cemento" intercelular o evitar el contacto de las células con agua como en el caso de los caparazones de los artrópodos.

Esta gran diversidad de estructuras y funcionalidades celulares abre una gran posibilidad de explorar mecanismos y estructuras novedales a nanoescala. La integración de células enteras o biomoléculas como proteínas, lípidos, ácidos nucleicos y otras, con nano-estructuras conlleva a la obtención de materiales híbridos que posean las especificidad de reconocimiento de los materiales biológicos combinados con las propiedades selectivas de los na-

nomateriales. Estos materiales híbridos, nanobiomateriales, poseen características avanzadas capaces de ser funcionales, y posiblemente también inteligentes (producir respuestas de acuerdo a las condiciones ambientales del micro-entorno) y pueden ser utilizados en equipamiento miniaturizado de tipo mecánico, óptico, electrónico, y/o en sensores o catalizadores con la ventaja sensibles y además biodegradables.

Uno de los factores que hace de la nanobiotecnología un área de grandes promesas en futuras investigaciones tanto a nivel básico como aplicado se debe a que todos los componentes de los sistemas biológicos (receptores, transportadores, enzimas, etc...) funcionan en escala nanométrica e independientemente de nuestra voluntad y existencia. La combinación de organizaciones polimoleculares sumado a la posibilidad de reconocimiento de estructuras moleculares individuales generadas a través de procesos de diseño de artefactos moleculares y supramoleculares podrá generar estructuras funcionales a nanoescala capaces de interactuar con el medio, como por ejemplo fotoactivas, electroactivas, ion-activas, y producir señales y/o acciones deseadas. Numerosos receptores capaces de interactuar selectivamente con sustratos específicos han sido descritos en la naturaleza y son utilizados en proceso de biocatálisis, almacenamiento y transporte. Sin embargo, es un requerimiento imprescindible el conocimiento profundo y detallado del nivel molecular y su topología, para poder diseñar y manipular las estructuras apropiadamente, y predecir su comportamiento de una manera racional.

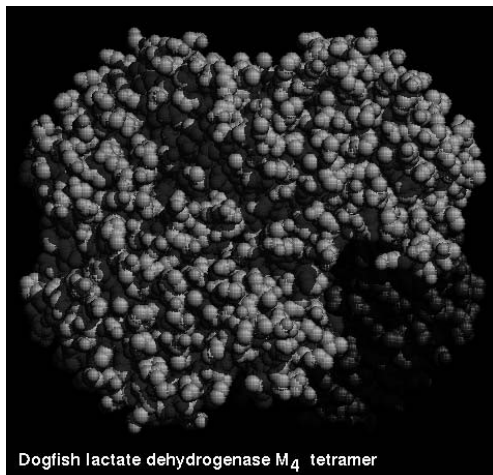
Existen tres características intrínsecas distintivas que poseen los componentes participantes del autoensamblado, que son la existencia de los denominados bloques de construcción, las interacciones internas y entre sus componentes, y por

ultimo una estructura definida y ordenada.

Los denominados bloques de construcción están compuestos por átomos, moléculas y estructuras con diferente composición química, topología y funcionalidades. Estos bloques de construcción deben ser estructurados. Eso significa que deben poseer una estructura interna que esta determinada por su composición química, y son las interacciones entre sus grupos funcionales las que determinan su plegamiento molecular. Así por ejemplo, la síntesis de las proteínas en una célula de mamíferos se realiza mediante los ribosomas, los cuales están compuestos por dos subunidades denominadas mayor y menor, y por un total de 53 proteínas, las cuales por se carecen de funcionalidad, pero al conformar las subunidades y en presencia de ácido ribonucleico se convierten en una maquinaria casi perfecta para la síntesis de proteínas. Un caso similar es el de los virus, cuyos componentes son sintetizados intracelularmente de manera individual, y posteriormente se autoensamblan para formar los viriones, antes de ser liberados al medio extracelular listos para infectar otras células.

Las interacciones entre los componentes de la estructura autoensamblada, los cuales generalmente son de tipo de débil (puente hidrógeno, Van der Waals, etc...), determinan el funcionamiento y las características del sistema. A su vez, para que un sistema pueda autoensamblarse deben existir fuerzas de unión (cohesión) entre las estructuras. De esta manera, las partículas pueden interactuar entre sí obteniéndose estructuras funcionales de mayor complejidad. Un ejemplo son las enzimas multiméricas, o sea aquellas constituidas por mas de una molécula, para que posean actividad catalítica. Los monómeros (o subunidades) en general no poseen actividad biológica, sin embargo cuando se forma el multímero, el bio-

catalizador se encuentra activo. En algunos casos la cinética de formación del multímero depende de la existencia del sustrato para la constitución del complejo molecular (autoensamblado).



**Figura 9.** Diagrama de la enzima láctico deshidrogenasa basada en análisis cristalográfico de rayos X. La enzima está compuesta por cuatro subunidades, representadas mediante diferentes colores.

Fte.: <http://www.cryst.bbk.ac.uk/pps97/course/section11/multienz.html>

Un ejemplo típico es la enzima láctico deshidrogenasa, cuya estructura multimérica se puede observar en la figura 9. Esta enzima posee una gran importancia porque es capaz de catalizar la interconversión de ácido láctico en ácido pirúvico, y se la emplea en diagnóstico como marcadora de daño tisular. Algunas especies sintetizan dos subunidades diferentes, denominadas H y M. Y para que la enzima sea activa se deben autoensamblar cuatro subunidades en forma tetramérica, como se observa en la figura 7. De esta manera se pueden obtener una serie de isoenzimas catalíticamente activas.

Por último el orden, que representa una estructura de mayor complejidad del conjunto de componentes del sistema autoensamblado en relación a la de los componentes individuales. Este ordenamiento se produce de manera secuencial, por lo que queda determinado por variables espacio-temporales.

Sin embargo, un condicionante de proce-

sos de autoensamblado es el medio ambiente. Las condiciones fisicoquímicas de contorno, como la presión, temperatura y concentración, en que se producen las interacciones entre las diferentes estructuras determinan o no la posibilidad de que se produzca un proceso de autoensamblado. Así por ejemplo, el plegamiento y la flexibilidad de la estructura de una proteína está determinada por las condiciones ambientales. La proteína puede cambiar drásticamente sus estructuras superiores permitiendo o no la posibilidad de interactuar con otras moléculas. El caso más sencillo son las enzimas que poseen condiciones operacionales de catálisis bien definidas. Fuera del intervalo operacional específico de cada molécula de biocatalizador, las enzimas dejan de tener actividad debido a que pueden perder el plegamiento requerido para su funcionalidad catalítica.

## CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA NANOBIOTECNOLOGÍA

### 1. Motores y sistemas moleculares

Una máquina molecular puede ser definida como una estructura de autoensamblado compuesta por un número discreto de unidades de componentes moleculares y/o supramoleculares capaz de realizar un movimiento mecánico determinado ante un estímulo o señal especificada. Las células desde sus orígenes más primitivos como las microbianas hasta las más evolucionadas que conocemos como las de mamíferos, poseen estructuras que podríamos definir como motores moleculares. Estos motores moleculares "trabajan" por ejemplo contrayendo las células ante ciertos estímulos de tipo quimiotáctico como por ejemplo los flagelos en las células microbianas que le permite a la célula trasladarse o la migración de axones en células neurales.

### 2. Biotemplados, biomimética y diseño de estructuras de novo

Uno de los mayores objetivos de la nanobiotecnología es la creación y el diseño de nanodispositivos basados en templados biológicos. Las biomoléculas a través de la interacción con otras y/o con estructuras supramoleculares orgánicas y/o inorgánicas pueden generar sistemas de alta complejidad a nivel molecular. Los desarrollos en las áreas de biología molecular, ingeniería genética y metabólica, evolución dirigida sumada a las áreas de proteómica permiten predecir la construcción de sistemas diseñados parcial- o totalmente de novo en biomimética y biotemplados.

### 3. Nanobiocomputación

El código genético almacenado en el ADN celular puede ser analogado al de las computadoras, y mediante el uso de ingeniería genética puede ser manipulado modificando su composición y por lo tanto su información, de esta manera se podrían obtener computadoras que funcionen en un entorno biológico. Con una aproximación más futurística, el ensamblado de una nanobiocomputadora podría integrarse a nuestro organismo.

### 4. Nanobioestructuras autoensambladas

Se ha mencionado anteriormente, que los procesos de autoensamblado son eventos complejos espontáneos. Mediante el diseño "a pedido" de biomoléculas como proteínas o híbridas (glicoproteínas, lipoproteínas, etc...) y conociendo sus mecanismos de interacción y ensamblaje se podrían determinar nuevas funciones "biológicas" no naturales y obtener novedosas biomáquinas y biomateriales.

### 5. Nanomedicina

Se puede considerar como la aplicación biomédica de la nanobiotecnología. La medicina ha realizado grandes avances en los últimos 50 años debido a la aplicación de biología molecular al estudio de las patologías. Los campos mas promisorios para su aplicación son las de diagnóstico, liberación controlada de drogas, nuevas terapias y desarrollo de prótesis e implantes, y medicina regenerativa. Actualmente uno de los campos dominantes que impulsan los desarrollos mas avanzados de las nanotecnologías.



## **6. Nanoelectrónica basada en ADN**

El objetivo es usar como templado ADN para el diseño de estructuras supramoleculares de autoensamblado para uso de equipos de nanoelectrónica, que podrían ser biocompatibles. Estos desarrollos posibilitarían la posibilidad de generar estructuras celulares híbridas, y a su vez poder detectar y hasta controlar cambios en la fisiología celular y tisular mediante nanosensores.

Otra de las potencialidades de la nanoelectrónica es el desarrollo de transistores unimoleculares, en donde tanto las proteínas como el ADN son candidatos potenciales.

## **7. Investigación nanobiológica**

Una de las grandes tendencias en las investigaciones en las ciencias biológicas en las últimas décadas se han basado en las relaciones entre las estructuras biológicas y su función. Las posibilidades de empelar técnicas a nivel nanoscópico permitirán comprender con mayor profundidad los mecanismos celulares y tisulares, de organogénesis y su relación con los motores moleculares.

## TENDENCIAS FUTURAS

La nanobiotecnología se encuentra en sus fases iniciales de un desarrollo que es multidireccional y pluripotencial. Las empresas de vanguardia tecnológica de diversos campos están convergiendo en esta área para brindar nuevos desarrollos, es así que el aproximadamente el 50 % de la inversión de capitales se realiza en nanotecnología, ello está acompasado por un aumento considerable de patentes internacionales y publicaciones científicas de primer nivel.

Una de las mayores áreas de investigaciones son las ópticas y electrónicas, el desarrollo de interface con elementos biomoleculares permitirá el surgimiento de nuevas plataformas del conocimiento

y su aplicación a gran escala. Algunos ejemplos posibles de sus aplicaciones son listados en la tabla 1.

En el área de nanomedicina, los desarrollos postulados rozan la Ciencia ficción pero no se ve como un obstáculo postular que en un futuro no muy lejano existan por ejemplo, robots a escala manométrica y biodegradables capaces de realizar intervenciones quirúrgicas a distancia para el tratamiento de desordenes fisiológicos hasta el reemplazo de ciertas porciones de la molécula de ADN cuya expresión que podrían resultar patológicas (e.g. en tratamientos de cáncer, en algunos tipos de diabetes, hormonas etc...).

**Tabla 1. Potenciales aplicaciones de los sistemas nanobiológicos**

Nanobiología	Area interfacial	Nanobiotecnología
Análisis moleculares de estructura y función	Interconversión de energías mecánicas y bioquímicas	Bio-MEMS – manipulación molecular – biochips – biosensores
Captura de imágenes de moléculas aisladas.	Reacciones y manipulación de microespacios	Bio-imágenes
Construcción de ensamblamientos moleculares – biomáquinas	Nano-equipos celulares – Medicina regenerativa	Nano materiales – materiales cuánticos
Manipulación de individual de células	Nano-equipos para manipulación molecular	Nanosistemas para liberación controlada de moléculas.
Estudios de tráfico intracelular	Imágenes de puntos cuánticos ( <i>Quantum dots</i> )	Ingeniería de Tejidos
Imágenes intracelulares		Medicina regenerativa
Mecanismos de funcionamiento y manipulación de moléculas simples.		Nano-equipos – Micro-sistemas de análisis biológicos

## CONCLUSIONES FINALES

Las nanotecnologías han abierto una nueva era no sólo desde el punto de vista productivo al internarse en el estudio del comportamiento del mundo atómico y subatómico de la materia y en especial de los procesos celulares y moleculares para la producción de bienes y servicios que introducirán grandes cambios en nuestras sociedades desde el punto de vista productivo y social. Pero además, porque plantea profundos cuestionamientos a nuestros conceptos surgidos hace unos 5.000 años, cuando nacieron las primeras sociedades humanas, sobre la definición de seres vivos, nuestro entorno material y su relación con la máquinas, cada vez más estrecho y entrelazados.

El desarrollo de la Nanobiotecnología conlleva al diseño de un nuevo tipo de materiales híbridos (no naturales), micro- y nano- sistemas, biomáquinas inspiradas en las formas de vida circundantes, y el uso de biomoléculas como bloques de construcción, y de biosistemas como maquinaria productiva. Sin embargo, es requisito imprescindible un conocimiento acabado de los sistemas biológicos y una gran capacidad de procesamiento de las informaciones, las cuales son claves para poder desentrañar las relaciones entre las estructuras biológicas y sus funciones, e incorporarlas al desarrollo de estructuras nanotecnológicas con diseños inspirados en materiales biológicos producto de nuestra imaginación y necesidades.

La nanobiotecnología es un campo interdisciplinario y de alta complejidad teórica e instrumental, por lo que sus fundamentos científicos no son familiares para la mayoría de la población, sin embargo sus aplicaciones se desarrollan en ámbitos de la vida cotidiana, afectándonos a todos por igual. Y como en todas las ciencias en su inicio, involucrará nuevos desafíos que

incluyen la redefinición de amplios conceptos establecidos en nuestras sociedades debido al surgimiento de nuevos paradigmas científico-tecnológicos y socio-culturales al manipular la materia a escala atómica.

Por lo que será imprescindible desarrollar canales de permanente comunicación con la población sobre los estadios de las investigaciones y sus aplicaciones con el objeto de establecer controles sociales para desarrollarla en un sentido ético y social adecuado, y delimitar los potenciales usos abusivos de su implementación.



## REFERENCIAS, AGRADECIMIENTOS Y NOTAS

### Referencias

- Drexler K.E. (1986). Molecular engineering: an approach to the development of general capabilities for molecular manipulation. *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)* 78, 5275-5278.
- Feynman R. (1961). There's plenty of room at the bottom. In *Miniaturization* (ed. H.D Gilbert), pp. 282-296. Reinhold, Nueva York, EE.UU.
- Hollman M. (2007). Nanomaterial forecast: volumes and applications. The ICON Nanomaterial Environmental Health and Safety Research Needs Assessment. Enero 9, Bethesda, EE.UU.
- Lu W., Xiong C., Zhang G., Huang Q., Zhang R., Zhang J.Z., Li C. (2009). Targeted photothermal ablation of murine melanomas with melanocyte-stimulating hormone analog-conjugated hollow gold nanospheres. *Clin. Cancer Res.* 15, 876-886.
- Mao C., Sun W., Shen Z., Seeman N.C. (1999). A nanomechanical device based on the B $\pm$ Z transition of DNA. *Nature* 397, 144-147.
- Mc Luhan M., Powers, B.R. (1989). *The global village*. Oxford University Press. 240 páginas.
- Nicolini C. (2009). *Nanobiotechnology and Nanobiosciences*. Pan Stanford Publishing LTD, Singapur. 367 páginas.
- Niemeyer C.R. (2001). *Nanoparticles, Proteins, and nucleic acids: Biotechnology meets materials science*. *Angew. Chem. Int. Ed.* 40, 4128-4158.
- Schwartzberg A.M., Zhang J.Z. (2008). Novel optical properties and emerging applications of metal nanostructures. *J. Phys. Chem.* 112, 10323-10337.

### Agradecimientos

A las autoridades del Gobierno Argentino, Mercosur y del Gobierno de Italia por haberme seleccionado y permitirme participar como docente del Curso de Alta Formación Superior 2008-2009 en el Área de Ciencia y Tecnología dentro del Programa Marco Mercosur - Gobierno de Italia, en una experiencia que ha sido muy enriquecedora. En particular, un agradecimiento especial a la Dra. Nidia Tagliabue, al Arq. Augusto Chaia, y al resto de los colegas y personal del Curso por el todo apoyo y estímulo brindado.

### Notas

Nanobiotecnología, campo promisorio de exploración y desarrollo de nuestras sociedades\*

Guillermo R. Castro

Laboratorio de Nanobiomateriales, CIN-DEFI (CONICET-UNLP, CCT La Plata).

Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata.

Calle 50 y 115. C.P. 1900 La Plata, Argentina.

Department of Biomedical Engineering, School of Engineering, Tufts University.

4 Colby Street, Medford, Ma 02155. E-EE.UU.

E-mail: grcastro@gmail.com

Tel/Fax: ++54-221.483.37.94 ext 132/103

\*El presente trabajo esta dedicado a la memoria del Dr. Rubén M. Laguens, amigo y colega.



Los Cuadernos Mercosur.it son una publicación del Programa de Alta Formación para la Integración Regional, realizada por el Centro Interuniversitario di Ricerca per lo Sviluppo Sostenibile (CIRPS) de la Sapienza Universidad de Roma.

Os Cadernos Mercosul.it são uma publicação do Programa de Alta Formação para a Integração Regional, elaborada pelo Centro Interuniversitario di Ricerca per lo Sviluppo Sostenibile (CIRPS) da Sapienza Universidade de Roma.

CIRPS - Sapienza Università di Roma  
Piazza San Pietro in Vincoli, 10 - 00184  
Roma (Italia)

[www.cirps.it](http://www.cirps.it)



La Rete mercosur.it cuenta con el apoyo  
de las siguientes instituciones



Revisión, compaginación y gráfica:

Thais Palermo Buti

[www.mercosur.it](http://www.mercosur.it)

[info@mercocur.it](mailto:info@mercocur.it)

Abril 2011





**Mercosur.it**

**Cadernos**

**Cuadernos Alta Formación para la  
Integración**

**Cadernos Alta Formação para a  
Integração**

**Cadernos**

**Mercosur.it**