Globethics Repository



Nanobiotecnología [nanobiotechnology]

This page was generated automatically upon download from the Globethics Repository. More information on Globethics see https://www.globethics.net. Data and content policy of Globethics Repository see https://repository.globethics.net/pages/policy.

Item Type	Article
Authors	Márquez D., Jairo E.
Publisher	Universidad El Bosque
Rights	Creative Commons Copyright (CC 2.5)
Download date	2026-11-09 21:50:17
Link to Item	http://hdl.handle.net/20.500.12424/215306

NANOBIOTECNOLOGÍA

Jairo E. Márquez D.

Los vertiginosos cambios tecnológicos y científicos que se han venido suscitando desde hace más de cuatro décadas, obliga a la comunidad en general a replantear el papel fundamental de su entorno y su correspondiente interacción con el planeta (efecto mariposa), lo que imposibilita adoptar una posición pasiva ante estos cambios dinámicos que aún no tienen definidos límites claros a corto o largo plazo, y que en la actualidad están formando parte fundamental de la vida y en un futuro no muy lejano serán clave en la supervivencia en la Tierra y por que no en otros mundos. Ejemplos claros de ello son la Biotecnología y la Nanotecnología.

La Biotecnología ha evolucionado de forma rápida con el desmantelamiento progresivo del velo que cubría el Genoma Humano, lo que ha permitido conocer nuevas secuencias génicas, identificar nuevos fenotipos mendelianos y relacionar enfermedades humanas con genes recién descubiertos. Este descubrimiento ha planteado una nueva revolución tecnológica que crece día a día creando nuevos campos de investigación e incursionando en otros, estoy hablando de la "***NANOBIOTECNOLOGÍA***". Término que fusiona las dos tecnologías emergentes más prometedoras del siglo XXI como son la Biotecnología y la Nanotecnología.

La Biotecnología desde el contexto de la Bioética aporta grandes beneficios para la humanidad. Sin embargo no hay que olvidar que el uso indebido del genoma, acarreará graves problemas en el futuro, no solamente para el hombre sino para todos los seres vivos que pueblan el planeta Tierra, y ello

incluye también la Nanotecnología pues su rango de acción es más amplio que la biotecnología en el que aparentemente no tiene límites definidos de aplicación. Ambas ciencias se nutren mutuamente, creando un híbrido (nanobiotecnología) que se abre camino por sí solo.

BIOTECNOLOGÍA

Existen muchas definiciones al respecto, pero podría definirla como el conjunto de técnicas por las cuales se consigue la modificación de estructuras biológicas preesxistentes, es decir, toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación, modificación de productos o procesos en usos específicos a través de la manipulación de su estructura molecular primigenia o básica de la vida.

La base de la Biotecnología es el ADN, el cual está constituido por dos cadenas de nucleótidos unidas entre sí formando una doble hélice, que establecen una asociación específica con sus homólogos de la otra cadena. Las dos cadenas de nucleótidos que constituyen una molécula de ADN, se mantienen unidas entre sí porque forman enlaces entre las bases nitrogenadas de ambas cadenas que quedan enfrentadas. Esta unión se realiza mediante puentes de hidrógeno y este apareamiento está condicionado por la afinidad química entre las bases, de tal manera que los nucleótidos que contienen adenina (A) sólo se puede unir con la Timina (T) y la Guanina (G) con la Citosina (C) tal como se muestra en la figura 1. Las bases complementarias se unen entre sí por enlaces químicos débiles llamados puentes de hidrógeno.

La molécula de desoxirribosa ocupa el centro del nucleótido y está flanqueada por un grupo fosfato a un lado y una base al otro. El grupo fosfato está a su vez unido a la desoxirribosa del nucleótido adyacente de la cadena. Estas sub-unidades enlazadas desoxirribosa-fosfato forman los lados de la escalera molecular; las bases están enfrentadas por parejas, mirando hacia el interior y forman los travesaños.

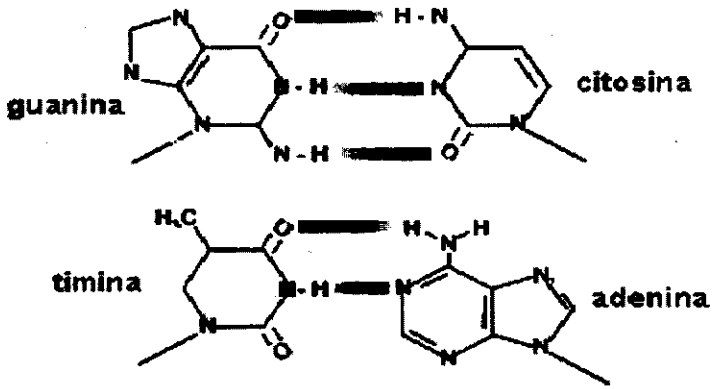


Figura 1. Estructura básica del ADN

La estructura de un determinado ADN está definida por la "*secuencia*" de las bases nitrogenadas en la cadena de nucleótidos. En estas secuencias reside la información genética. El orden en que aparecen las cuatro bases a lo largo de una cadena de ADN es, por tanto, crítico para la célula, ya que este orden es el que constituye las instrucciones del programa genético de los organismos. Lo que equivale a decir que conocer esta secuencia de bases nitrogenadas (secuenciar un ADN) equivale a descifrar su mensaje genético como tal.

La Biotecnología es una ciencia interdisciplinar cuyo enfoque está direccionado a la investigación básica como a la resolución de problemas prácticos y la obtención de bienes y servicios para beneficio del hombre. Algunas disciplinas relacionadas con la biotecnología son: las matemáticas, Microbiología, Bioquímica, Físico – química, Química Cuántica, Física cuántica, Genética, Biología Celular, Química Molecular y Supramolecular, Ingeniería Bioquímica, Electrónica e Informática, Minería de Datos, Ciencia y Tecnología de alimentos, Proteómica, Biogenética, Genómica Funcional, Farmacogenómica y la Ingeniería de Tejidos entre otras.

La Biotecnología se vale de diversas técnicas para la obtención de material genético como son la Técnica de citogenía (utilizada para la identificación de cromosomas y material que se trasloca en éstos), Técnica de Fragmentación, Técnica de Hibridación, Técnica de Amplificación, Técnica de Enzimas de Restricción, Técnica de Clonación de Genes y Técnica de Animales Transgénicos, todo ello con el fin de poder realizar diversos estudios científicos a diferentes escalas del genoma, con aplicaciones también escalares, desde terapias génicas hasta trasplantes de órganos (xenotransplantes) incluyendo la clonación de células hasta de seres, ya que la modificación genética es una manera de lograr ciertas características deseables en sistemas vivos. A la par de estos desarrollos científicos de la biotecnología va ligado el factor económico, tanto así, que se plantean siete características (Rifkin) que enmarcan la biotecnología como una nueva era económica que será complementada "y de que manera" con la nanotecnología, así:

1. Capacidad de aislar, identificar y recombinar genes.
2. La posibilidad de patentar genes, líneas celulares, etc.
3. La globalización del comercio.
4. Proyecto genoma humano, "gene chips", ingenierizar la reproducción humana.
5. Ambiente cultural de determinismo genético y nueva sociobiología.
6. Fusión entre informática y biotecnología
7. Nueva visión cosmológica que relaciona las nuevas tecnologías con el nuevo orden económico mundial.

Es claro que la Biotecnología trae consigo grandes beneficios para la humanidad, cuyo objetivo primordial es aportar soluciones innovadoras y sustentables a la contaminación ambiental, producción de fármacos, alternativas para la agricultura, técnicas modernas para el mejoramiento genético del ganado, peces y aves, y paquetes tecnológicos que sean la base de nuevas empresas biotecnológicas, donde el mayor interés de las compañías de Ingeniería Genética biotecnológicas está centrado en las proteínas y de éstas la mayoría son farmo-

químicos destinados al uso humano, como son las vacunas, síntesis de hormonas, interferones y antibióticos. También su rango de acción se ha extendido a la producción y la salud animal y vegetal (genética animal y genética vegetal).

Para citar algunos ejemplos aplicado en humanos, se viene trabajando desde hace más de veinte años con los *Anticuerpos monoclonales*; los cuales son macromoléculas en forma de Y, producidas por los linfocitos B, que tienen como misión luchar contra agentes patógenos. Existen en el mercado fármacos con anticuerpos monoclonales que cubren desde la prevención del rechazo de un órgano trasplantado (Orthoclone OKT3, Zenapax y Simulec) hasta la oncoterapía (Herzeptín, Rituxan, Mylotarg y campath).

Terapia Génica

Determinados descubrimientos en el campo de la Biología Molecular han hecho posible el desarrollo de la terapia génica. Los primeros experimentos surgieron en la introducción de genes en levadura y células de mamíferos en cultivo tisular. Su aplicación está centrada en la corrección de enfermedades genéticas a través de dos medios: La alteración de células germinales y la terapia somática celular. El tratamiento genético podría llegar a curar enfermedades hereditarias, como la hemofilia o la fibrosis quística, causadas por genes ausentes o defectuosos. Una técnica de este tipo consiste en utilizar virus modificados genéticamente para insertar genes nuevos funcionales en las células de pacientes incapaces de segregar hormonas o proteínas necesarias para el normal funcionamiento del organismo.

Otro tipo de investigaciones está centrado en:

- Terapia génica de enfermedades hereditarias.
- Terapia génica de la enfermedad de injerto contra el huésped (protocolos de trasplante alogénico de médula ósea).
- Terapia génica para la eliminación de células tumorales en protocolos de autotrasplante de médula ósea.

Para efectuar este tipo de estudios se recurre a los "vectores"; que son sistemas que ayudan en el proceso de transferencia de un gen exógeno a la célula, facilitando la entrada y biodisponibilidad intracelular del mismo, de tal modo que este pueda funcionar correctamente. Se han utilizado una gran variedad de vectores con fines experimentales, pero todos ellos pueden ser clasificados en vectores no virales y vectores virales.

Los vectores no virales son poco utilizados en terapia génica, debido a que su comportamiento dista mucho de un virus como tal, por lo cual se utilizan los vectores virales, que a diferencia del primero su aplicación esta basado en cuatro grupos de virus diferentes: retrovirus, adenovirus, virus adenoasociados y herpes-virus. De manera clara, los virus pueden ser utilizados como vectores en la terapia génica, al menos bajo circunstancias ideales. La pregunta que surge es, ¿qué barreras impiden la aplicación de estos vectores víricos actualmente? Y ¿Cómo controlar las aplicaciones futuras cuando la nanobiotecnología se desarrolle mucho más?

La ingeniería genética tiene un gran potencial. Muchas enfermedades pueden curarse con terapia génica. Los órganos dañados pueden repararse o sustituirse por tejidos formados in vitro a partir de células. Obtención de genes específicos para tratamiento de enfermedades. Por ejemplo, el gen para la insulina, que por lo general sólo se encuentra en los animales superiores, se puede ahora introducir en células bacterianas mediante un plásmido o vector. Después la bacteria puede reproducirse en grandes cantidades constituyendo una fuente abundante de la llamada insulina recombinante a un precio relativamente bajo. Otra aplicación importante es la fabricación de factor VIII recombinante, el factor de la coagulación ausente en pacientes con hemofilia. Otros usos son el aumento de la resistencia de los cultivos a enfermedades, la producción de compuestos farmacéuticos en la leche de los animales, la elaboración de vacunas y la alteración de las características del ganado.

Existen infinidad de investigaciones que se están desarrollando actualmente en todo el mundo, entre las que cabe mencionar: Evaluación prenatal de embarazo de madre portadora de rearreglo cromosómico, Hemofilia, Alcoholismo, Corea

de Huntigton, Anemia Falciforme, Hipotiroidismo Congénito, Retraso Mental, Miopatía de Duchenne, Maníacodepresión, Esquizofrenia, Síndrome de Lesch Nyhan, Deficiencia de ADA, Hidrocefalia, Microcefalia, Labio Leporino, Ano Imperfecto o Imperforación, Espina Bífida, Asesoramiento genético prenatal, síndrome de cri du chat, cinética de reparación del DNA en linfocitos humanos expuestos a nitrato de plata, detección de alteraciones cromosómicas en pacientes pediátricos con leucemia aguda linfoblástica por citogenética, citometría de flujo y fish, efectos citotóxicos y genotóxicos del albendazol y sus metabolitos en linfocitos humanos de sangre periférica, fenotipo de síndrome de wolf-hirschhorn, traslocaciones asociadas a cardiopatías congénitas, retraso psicomotor y alteraciones esqueléticas, segregación mitótica anómala de cromosomas isodicéntricos, Síndrome de Turner, síndrome de Down, síndrome de monosomía 21, enfermedad de alzheimer, fibrosis quística, caracterización molecular de dos isoformas de la proteína transferidora de esteres de colesterol, regulación de la expresión de la hil-10 por la proteína e2 de hpv en células c33-a, análisis molecular del mecanismo de implantación de embriones humanos, clonaje mediante ddrt-pcr y "DNAc microarrays" de genes específicamente expresados en células de endometrio receptivo, regulación transcripcional del gen humano de la hormona de crecimiento (hgh-n), papel de los elementos ALU y otras secuencias enhancer/lcr, clonaje de genes específicamente expresados en tejido placentario, aplicación de la técnica de "differential display" (ddrt-pcr) al estudio de la regulación transcripcional del locus hgh/hpl, expresión del antígeno del papilomavirus humano hpv-16 en *lactococcus lactis,* expresión del gen de la hormona del crecimiento (hgh-n) bajo el control de un promotor inducible con doxiciclina, definición de las estructuras proteicas tridimensionales mínimas en el reconocimiento entre componentes del citoesqueleto y segmentos intracelulares de receptores, producción de la proteína de fusión his-e2-bpv1 para la obtención de anticuerpos policlonales, expresión del genoma del virus epstein-barr en carcinoma gástrico, síntesis de células corneales por medio de Biopolímeros, al igual que la obtención de piel artificial, mucosa, endotelio, glándulas salivares y tejido adiposo entre otros.

En animales se tiene: Detección de RNAM de citosinas porcinas en intestino por hibridación, construcción y expresión génica en *pichia pastoris* de dos

hormonas del crecimiento animal, producción de la hormonas del crecimiento en ganado vacuno, caprino y porcino, expresión del proto-oncogen c-fos y su relación con la proliferación celular en el útero de la rata, expresión de p53 y su relación con apoptósis en el útero de la rata, evaluación del efecto Edipopgénico de hormonas recombinantes del crecimiento normal y variante de primates.

En plantas los estudios están centrados en el mejoramiento de especies y la fabricación de biofertilizantes y biocontroladores. Caso particular en Colombia el estudio está centrado en la floricultura y en alimentos como la Yuca, plátano, ñame, algodón, maíz, sorgo, soya, melón, pepino, repollo, papa, tomate y arroz entre otros. A nivel mundial se manipulan otras variedades de frutas y verduras pertenecientes al sustento básico del hombre y animales. En términos generales las plantas pueden ser modificadas para beneficiar al consumidor, a la industria alimenticia, a los agricultores y a la gente que habita en los países en desarrollo. La modificación genética también puede contribuir a lograr una manera más sostenible de agricultura y además puede llevar consigo beneficios ambientales.

Las frutas y hortalizas son modificadas para mejorar su sabor y apariencia, haciendo que en algunos casos su procesamiento sea más fácil y barato, mejorar las cualidades nutritivas y de resistencia contra insectos, enfermedades, malas hierbas o condiciones climáticas adversas.

Existen infinidad de aplicaciones de la Biotecnología a escala industrial llamada *Bioindustria*; la cual comprende las actividades de la industria química: síntesis de sustancias aromáticas saborizantes, materias plásticas, productos para la industria textil; en el campo energético la producción de etanol, metanol, *Biogas* e hidrógeno; en la *Biomineralurgia* la extracción de minerales. Además, en algunas actividades cumplen una función motriz esencial: la industria alimentaría (producción masiva de levaduras, algas y bacterias con miras al suministro de proteínas, aminoácidos, vitaminas y enzimas); produc-

ción agrícola (donación y selección de variedades a partir de cultivos de células y tejidos, especies vegetales y animales transgénicas, producción de Bioinsecticidas); protección del medio ambiente (tratamiento de aguas residuales, transformación de deshechos domésticos, degradación de residuos peligrosos y fabricación de compuestos Biodegradables).

Clonación

A nivel de la Ingeniería Genética, clonar es aislar y multiplicar en un tubo de ensayo un determinado gen o en general, un trozo de ADN. En un contexto más general, clonar significa obtener uno o varios individuos a partir de una célula somática o de un núcleo de otro individuo, de modo que los individuos clonados son idénticos o casi idénticos al original.

Existen varios tipos de clonación como son:

- *Partición (fisión) de embriones tempranos:* analogía con la gemelación natural. Los individuos son muy semejantes entre sí, pero diferentes a sus padres. Es preferible emplear la expresión *gemelación artificial*, y no debe considerarse como clonación en sentido estricto.
- *Paraclonación:* transferencia de núcleos procedentes de blastómeros embrionarios o de células fetales en cultivo a óvulos no fecundados enucleados y a veces, a zigotos enucleados. El "progenitor" de los clones es el embrión o feto.
- *Clonación verdadera:* transferencia de núcleos de células de individuos ya nacidos a óvulos o zigotos enucleados. Se originan individuos casi idénticos entre sí (salvo mutaciones somáticas) y muy parecidos al donante (del que se diferencian en mutaciones somáticas y en el genoma mitocondrial que procede del óvulo receptor).

Fines (teóricamente posibles) de los distintos tipos de clonación: Gemelación Artificial.

En animales:

- Investigación básica para mejora de fertilidad de las especies empleadas.

En humanos:

- Investigación en mejorar los resultados en mujeres con pobre estimulación ovárica Gemelos idénticos separados en el tiempo.

De la paraclonación

En animales:

- Seres idénticos para investigación producción ganadera junto con clonación, para biotecnología: tejidos "humanizados", granjas farmacéuticas Fuentes de tejidos, para xenotrasplantes.

En humanos:

- Investigación básica y aplicada, terapia para enfermedades mitocondriales que producen ceguera o epilepsia: transferencia del núcleo del embrión hasta un óvulo-zigoto receptor.

Clonación verdadera

En animales:

- Mejora de conocimientos en biomedicina modelos de enfermedades con transgénesis.
- Producción de medicamentos órganos para xenotrasplantes: cerdos transgénicos con factor inhibidor de complemento humano.
- Ganadería: Obtención de animales transgénicos.
- Recombinación homóloga para generar animales con genes inactivados y sustituidos.
- Producción de proteínas terapéuticas.
- Genzyme Transgenics: estudios con cabras. Idealmente se necesita métodos de transferencia no quirúrgica de embriones. Rápida propagación de fenotipos probados en el sector ganadero. Evitar el colapso de la diversidad

genética, limitando el número de individuos de un mismo clon en cada rebaño. Intentos de salvar especies en vía de extinción (p. ej, el Panda gigante). Incluso se está intentando "resucitar" especies extinguidas de las que hay material biológico conservado (alguna especie de marsupial australiano como el Tigre de Tasmania, el bucardo -una subespecie de cabra montesa recientemente desaparecida del Pirineo español y mamuts).

En humanos, la clonación verdadera podría tener dos usos diferentes:

- Clonación reproductiva: posibles situaciones.

1. Como técnica de reproducción asistida excepcional, no convencional.
2. Riesgos; datos sobre la edad celular, cáncer y efectos de seguridad.
   - Cuestiones de eficiencia.
   - Cuestiones de seguridad.
   - Clonación no reproductiva: se realiza la manipulación celular como en la anterior, pero el embrión no se implanta en útero, sino que puede servir a distintos objetivos, principalmente de investigación:
     - Sobre fertilidad, anticoncepción, etc.
     - Desarrollo embrionario.
     - Obtención de células madre e inducción de diferenciación en tejidos.

Se habla que la clonación podría representar la salvación de las especies silvestres amenazadas de extinción y difíciles de criar en cautiverio. Pero existe un problema actualmente, (posiblemente la nanobiotecnología podría sortearlo) donde la clonación no aporta diversidad genética, la especie está abocada de todas formas a la "muerte genética", condenada quizás a vivir en zoológicos o en condiciones altamente artificiales, casi como piezas de un museo viviente. Además con la clonación, se debe tener precaución con la amenaza de pérdida de diversidad genética en animales de granja, ya que si se impusiera este método, se tendería a la uniformidad (que ya está presente en la agricultura y ganadería actuales). La biodiversidad es un recurso valioso también en los "ecosistemas agropecuarios", ya que supone una reserva de recursos genéticos adaptados a diversas condiciones ambientales y a diversos contextos socioeconómicos.

Los beneficios potenciales de la ingeniería genética son considerables como se puede observar, pero a la vez involucra algunos riesgos como son: la introducción de genes que producen cáncer en un microorganismo infeccioso común, como el influenzavirus, puede ser peligrosa. Por consiguiente los experimentos con ADN recombinante están bajo control estricto y los que implican el uso de agentes infecciosos sólo se permiten en condiciones restringidas y controladas. Otro problema es que, a pesar de los rigurosos controles, es posible que se produzca algún efecto imprevisto como resultado de la manipulación genética (mutaciones incontroladas).

Existen disciplinas de desarrollo propias de la Biotecnología, como son: la genética animal, genética vegetal, organismos transgénicos, bioprocesos, bionegocios, biotecnología embrionaria, genética de microorganismos, biotecnología en vacunas producidas por técnicas de ADN recombinante, biotecnología de cultivos celulares, biocomputación, bioinformática, ingeniería de tejidos y Proteómica entre otros. En todas estas disciplinas, las medidas de seguridad son y deben ser estrictas, con el fin de poder evaluar y manejar cualquier riesgo relacionado con modificaciones genéticas, teniendo en cuenta el respeto a los protocolos, normas y leyes internacionales.

Cabe mencionar que dentro de las disciplinas de la *Bioinformática y la Biocomputación*; han permitido el desarrollo de hardware y software para el análisis de secuencias génicas cuya aplicación inicial fue en el ***Proyecto Genoma Humano*** (programa internacional de colaboración científica cuyo objetivo principal es conocer en su totalidad el código genético humano y las funciones de cada uno de los genes que lo conforman). Permitió acelerar los procesos de información y gestión de una manera vertiginosa haciendo más fácil la obtención de resultados en corto tiempo, lo que significó un avance sin precedentes en el diseño de bases de datos dinámicos, software para visualización de estructuras moleculares, sistemas de manejo integrado de laboratorios para I+D a nivel de la industria farmacéutica, software para estudios de redes genéticas y desarrollo de nuevos algoritmos para estudios de estructura proteica. Por lo tanto, estas disciplinas son herramientas importantes y potentes de la

biotecnología actual al igual que la nanotecnología y por extensión de la Nanobiotecnología.



Figura 2. La bioinformática y la biocomputación son dos disciplinas de la biotecnología esenciales para el modelamiento, secuenciación y mapeo de estructuras genéticas complejas.

Bioinformática

Se encuentra en la intersección entre las Ciencias de la Vida y de la Información, proporcionando las herramientas y recursos necesarios para favorecer la Investigación y Desarrollo (I + D) de sistemas útiles para llegar a entender el flujo de información desde los genes a las estructuras moleculares, a su función bioquímica y a su conducta biológica y, finalmente a su influencia en las enfermedades y en la salud.

Los estímulos principales para el desarrollo de esta disciplina han sido el enorme volumen de datos sobre secuencias generados por los distintos proyectos genoma (humano y otros organismos), los nuevos enfoques experimentales basados en biochips que permiten obtener datos genéticos a gran velocidad, bien de genomas individuales (polimorfismos, mutaciones), bien de enfoques celulares (expresión génica) y el desarrollo de Internet que permiten el acceso universal a las bases de datos de información biológica.

La bioinformática ha creado nuevos paradigmas científicos en la inteligencia artificial, los sistemas complejos y la minería de datos. Tanto así que surgen nuevos conceptos como la computación evolutiva, estrategias evolutivas, autómatas celulares, Biomemética, embriónica, hardware evolutivo, programadores evolutivos y genéticos, clasificadores genéticos, software evolutivo, redes neuronales artificiales, vida artificial, solidificación simulada y algoritmos miméticos entre otros.

En la figura 3, se muestra cómo la bioinformática tiene relación directa con diversas disciplinas, todas ellas relacionadas con el área de la salud, en el cual existen cuatro grandes bloques de desarrollo ligados a ella, como son: la genética y salud pública, el desarrollo de nuevos fármacos, la investigación biomédica y el diagnóstico clínico.

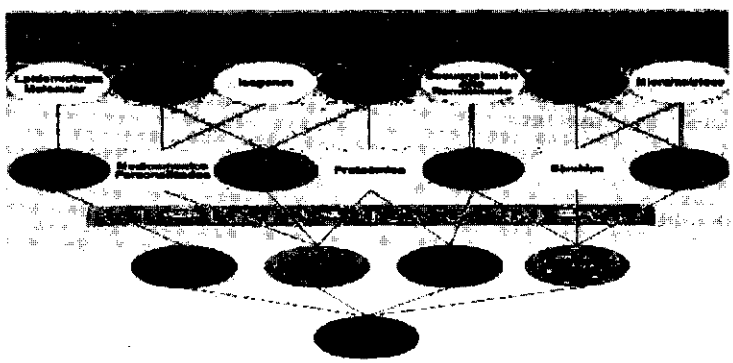


Figura 3. Esta figura muestra la estrecha relación que existe entre la bioinformática con el área de la salud, y como está segmentada según su rango de aplicación y/o escala.

La industria farmacéutica ha sido la primera en darse cuenta de la conveniencia de disponer de personal especializado en bioinformática, donde los conceptos de BioDatos, BioInformación y Bioconocimiento son esenciales en la Biotecnología de la información. La existencia de congresos específicos (ISMB, PSB, RECOMB), sociedades científicas (ISCB), unidades en empresas, centros académicos y del gobierno, empresas dedicadas a prestar servicios

en bioinformática, programas de formación en universidades (Oxford, George Mason, Manchester, Pennsylvania, Rutgers, Stanford, Washington-San Luis, CMU, Pittsburgh, Australian National Univ., Pune-India, Dublín, Bergen-Noruega, Johns Hopkins), revistas (Bioinformatics, "In Silico Biology", Trends Guide to Bioinformatics, Journal of Computational Biology), líneas propias de investigación y áreas particulares en convocatorias de proyectos muestran el grado de desarrollo alcanzado por esta disciplina (Gershon, 97, University Bioinformatics Programs).

Entre los objetivos de la bioinformática se encuentran:

- Anticipar los impactos que el uso de la información genética puede tener en la práctica médica y en la investigación sanitaria.
- Utilizar las tecnologías de la información y las comunicaciones para incrementar el conocimiento genético de los profesionales de la salud y los pacientes.
- Investigar y desarrollar herramientas útiles para enlazar la información genética y la información clínica.
- Dar respuesta, evaluando y aportando soluciones tecnológicas, a los nuevos retos de la investigación biomédica: Proteómica, genómica funcional y fármaco-genómica entre otras.
- Evaluar los aspectos legales, éticos y sociales del uso de la información genética individual en Medicina.

Como conclusión en este apartado, la bioinformática aplicada a las ciencias biológicas funcionales del Genoma, ha experimentando una revolución de la información en curso conducida por avances en tecnología analítica, bioquímica, biomateriales, nanotecnología, química de polímeros y ciencia de materiales. Estas tecnologías permiten a los investigadores caracterizar de manera exacta y cuantitativa las moléculas dentro de una célula y supervisar los procesos celulares simultáneamente. Hay dos desafíos principales que hacen frente a los ingenieros químicos: el desarrollo de la tecnología y el análisis significativo de la información, integrando las tecnologías bioinformáticas analíticas (software y hardware evolutivo) para la aclaración de la función celular de los

componentes (genómica funcional) como se relaciona con las nuevas técnicas metabólicas de la medida del genoma, que dirigen para la adquisición de métodos de cómputo sistemáticos sobre el genoma y Proteómica para la integración de volúmenes de datos fisiológicos y metabólicos para permitir un análisis eficaz de las células y de sus funciones.

Existe una gran discusión sobre el alcance y el futuro de la ingeniería metabólica por la incursión de la nanotecnología para manipular el genoma. ¿Un problema Bioético? Es evidente que sí, por una sencilla razón, la manipulación del genoma humano sin control alguno, les permite a las compañías privadas o públicas hacer lo que les plazca con los resultados de sus investigaciones, amparados en muchos casos por los mismos gobiernos, permitiéndoles burlar las normas y leyes que pretenden salvaguardar el genoma humano del uso indebido.

Biocomputación

La biocomputación pretende crear soluciones a nivel de Hardware para los diferentes problemas relacionados con la Biología. La Biología y la Ciencia Computacional han sido dos campos distintos. Sin embargo, con los recientes y rápidos desarrollos en Biología Molecular especialmente los relacionados con secuencias de DNA, mapeo restringido y el estudio de estructuras proteicas se buscan métodos eficientes para analizar las grandes cantidades de datos de los cuales se va disponiendo.

Un concepto que se viene manejando actualmente que relaciona la biocomputación, la bioinformática y la nanobiotecnología es la minería de datos (**Data Mining**); que consiste en la "explotación" de datos en bruto. Su objetivo, perseguido mediante la manipulación semi-automática de datos, es la obtención de información clave para conseguir beneficios, información más relevante y útil que los propios datos de partida.

La minería de datos se fundamenta en la intersección de diversas disciplinas de estudio, entre las que cabe destacar: análisis estadístico, bases de datos,

inteligencia artificial, sistemas evolutivos, visualización gráfica y bases de datos, mercado de datos (Data Marts) y almacenes de datos (Data warehouses). Su importancia crece con el tamaño de las bases de datos. En otros casos basta con técnicas estadísticas tradicionales y con técnicas de aprendizaje de máquina. Las nuevas solicitaciones tienen como nombre el de "Descubrimiento de conocimiento en bases de datos", KDD. Además de las técnicas tradicionales, emplean técnicas de modelado y tecnología de bases de datos que permitan la predicción de resultados del futuro. Las etapas por las que pasa la minería de datos comienzan con una preparación y limpieza preliminar (técnicas de filtración), siguen con una combinación de patrones y relaciones encontrados (clustering) con otra información complementaria de otros orígenes y finaliza con la interpretación y conclusión de la tarea (presentación del conocimiento descubierto en una forma amigable para el usuario, es decir para la toma de decisiones). Para que efectúe esta tarea el sistema, debe recurrir a supercomputadoras con alto procesamiento en paralelo.

Los sistemas LIMS permiten la integración y gestión de los datos de laboratorio, y posteriormente toda la información pasa por el **DATA MINING** para ser procesada y visualizada (ver figura 4).

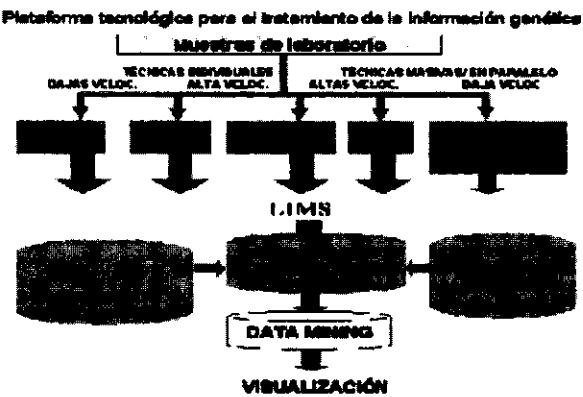


Figura 4. Para procesar cantidades masivas de información, se aplican técnicas de Data Mining las cuales a través de su procesamiento en paralelo analizan de manera rápida bases de datos masivas (Giga y Terabytes).

Proteómica (el estudio del proteoma)

Es una rama de la biotecnología de suma importancia que en conjunto con la nanotecnología avanza a pasos de gigante. En esta disciplina se analiza la dinámica de las proteínas, estado de activación y de la interacción de una proteína con otra, a través de modelos matemáticos simulados por medio de supercomputadores e hipercomputadores.

La Proteómica puede definirse como la genómica funcional a nivel de proteínas, es decir, estudia el proteoma a partir de un conjunto de proteínas que se expresan en el genoma. Para ello se utilizan técnicas de separación e identificación de proteínas a gran escala. Estas técnicas van desde la cristalización de proteínas, hasta la inferencia de su estructura y función a partir de la secuencia.

La Proteómica es la ciencia que correlaciona las proteínas con sus genes. Las células expresan varios miles de proteínas diferentes y cada una de ellas puede experimentar numerosas modificaciones en respuesta a microambientes que no necesariamente deben ser iguales, lo que incrementa de forma significativa el número de especies proteícas presentes. Por lo tanto, el proteoma es una imagen dinámica de todas las proteínas expresadas por un organismo, tejido o célula, en un momento dado y bajo determinadas condiciones concretas de tiempo y ambiente(s).

El conocimiento final de la secuencia del genoma pone en claro que se está hablando de la identificación y de la secuenciación de una cantidad de entre 40.000 y 50.000 genes del genoma humano. Toda esta información contribuirá en forma notable sobre el desarrollo de la biología y la medicina; en este punto la proteómica encara un gran problema, y es que a partir de más o menos 200 aminoácidos se complica el análisis y observación de una proteína, sumado a esto se calcula que en el hombre hay aproximadamente 500.000 proteínas, cuyos tamaños varían, al igual que sus funciones. Por ejemplo en la expresión de la función celular. Esta expresión es modulada en varios puntos de la trascripción, el procesamiento y la traslación, y aún después de esto la adición

de cadenas específicas de hidratos de carbono o la fosforilación, procesos que dan origen a múltiples productos proteicos de un solo gen.

La Proteómica hasta ahora está surgiendo pero es claro que su ingerencia en la ingeniería genética y por extensión en la biotecnología es básica para el tratamiento de muchas enfermedades, al igual que en el desarrollo de nuevos fármacos.

Hasta este punto, se ha hecho una breve exposición de lo que es la biotecnología, de sus cambios y beneficios para la humanidad, en la cual la demanda de alimentos está aumentando dramáticamente a medida que la población del mundo crece. La biotecnología ofrece una manera de satisfacer esta creciente demanda sin necesidad de imponer una presión aún mayor sobre los escasos recursos naturales. Permite cultivar plantas de mejor calidad con mayores rendimientos, al mismo tiempo que se protege y sostiene el medio ambiente. Animales cuya carne es más nutritiva y menos nociva para el organismo humano, etc.

Ahora, es claro que no todo es color de rosa, surgen algunos aspectos negativos que opacan el uso de la Biotecnología en muchos campos. Aunque se manejen protocolos de seguridad en productos manufacturados biotecnológicamente, existe incertidumbre respecto a la fiabilidad y confiabilidad de estos, por citar algunos ejemplos; el maíz Starlink que contaminó con una proteína sospechosa de ser alergogénica, la cadena alimentaría humana (productos Kraft en los EUA), se retiraron del mercado más de 300 productos y la contaminación genética por este maíz apareció por todas partes del mundo, contaminando otras variedades que no tenían ningún nexo directo con ésta.

Se han comprobado contaminaciones de colza en Europa, de algodón en la India y en alimentos dados como ayuda a América del Sur y África. No menos polémico y vigilado ha sido el desarrollo de transgénicos de uso industrial (farmacéutico, materias primas) y los experimentos de transgenía en animales (generalmente con finalidades industriales).

Es claro que las compañías multinacionales tratan de encubrir estos hechos lamentables sobre los alimentos transgénicos, la culpa se puede atribuir a las políticas poco claras por no decir que deshonestas de estas industrias (Monsanto, Novartis, Prodigene, Aventis, Dupont, Zeneca, Bayer, Sandoz y Nescle por citar algunas) en lo concerniente a las investigaciones y productos que han sido modificados genéticamente, y que son distribuidos por todo el planeta sin un control estricto y lo que es peor es que existen casos en los cuales el consumidor no lo sabe.

Otro aspecto negativo de la Biotecnología es el relacionado con la forma injusta y poco ortodoxa en la que se está patentando el genoma, sea humano o de cualquier especie, reduciendo la vida y la naturaleza a un producto más, atentando de manera directa contra los derechos humanos e inclusive contra la soberanía de los países ricos en biodiversidad como Colombia.

"Es importante que la humanidad se apersone de la riqueza natural que posee cada uno de sus países, y no solo en el ámbito conservacionista si no en el ámbito científico e investigativo, con miras a crear soluciones al entorno sin esperar a que otros agentes externos lo hagan. Para ello es importante que los gobiernos tomen cartas sobre el asunto planteando políticas claras respecto a la protección de la biodiversidad y explotación del genoma con fines industriales, al igual que el control y manejo de las patentes. Caso particular, Colombia, donde desafortunadamente las leyes son muy laxas en estos aspectos. Permitiendo que muchos de los recursos genéticos estén siendo explotados por multinacionales sin control alguno".

Es claro que la Biotecnología se abrió paso por si sola en el campo del conocimiento, pero a medida que se indaga más sobre las partes constitutivas del genoma más se advierte la necesidad de recurrir a conceptos, modelos y técnicas más refinadas de otras disciplinas. No sobra decir, que la matemática, la química molecular, la química cuántica, la física nuclear, la física atómica, la física cuántica y la física estadística entre muchas otras, son piezas fundamentales para comprender el intrincado comportamiento de la materia a escalas

microscópicas. Pero a medida que se desea conocer más sobre el genoma, la Biotecnología se queda corta en sus procedimientos (cuestión de escalabilidad o dimensiones), por lo tanto, la **Nanotecnología** está permitiendo aumentar el potencial de investigación y desarrollo a escalas, macroscópicas, mesoscópicas, microscópicas y atómicas de esta ciencia, manifestándose a través de la nueva ciencia emergente llamada **Nanobiotecnología.**

NANOTECNOLOGÍA

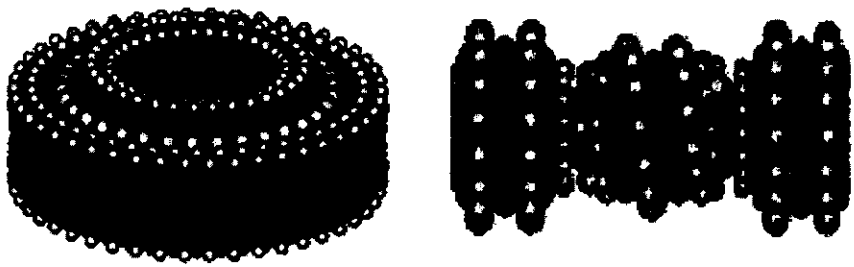


Figura 5. Futuros nanoengranajes construidos con moléculas. Sus aplicaciones van desde las nanomáquinas (proteínas, enzimas, hormonas) replicadoras y autoreplicadoras hasta nanorobots. Cortesía de IMM. Institute for Molecular Manufacturing. www.imm.org.

La Nanotecnología o tecnología de lo pequeño, o también llamada tecnología atómica, trabaja a escalas del orden de una milésima de millonésima de metro (10^{-9}m), y está enfocada a diseñar, controlar y modificar materiales orgánicos e inorgánicos, a través de la miniaturización de componentes a rangos del nivel de un submicrón hasta niveles de átomos individuales o moléculas (100nm y 0.1nm).

La Nanotecnología hizo su aparición hace más de tres décadas, y su aplicación se ha diversificado de manera exponencial en casi todas las áreas del

saber, creando de paso nuevas disciplinas de estudio en el área de la investigación y desarrollo (I + D). Por ejemplo: Nanoelectrónica, Nanomedicina, Nanomáquinas, Nanorobótica, Moletrónica, Bionanotecnología, Biomateriales Nanoestructurados, Computación Molecular, Computación de Proteínas, Computación Cuántica, Biocomputación, Computación ADN, Computación "ptica, Química Supramolecular, Química Computacional, Espintrónica, Nanosensórica, Protocatálisis, Nanoestructuras, Nanomateriales, Nanodispositivos, Fluidos Nanoestructurados, Nanocompuestos y simulación de sistemas nanoescalares, Nanofotónica, Nanobiología, Nanometría, Nanolitografía, Nanoinstrumentación y Nanoquímica entre otros.

La Nanotecnología es multidisciplinar requiere de aportes de campos variados como son: las matemáticas, la Biología Celular, Biología Molecular, Bioquímica, Ingeniería Química, Ingeniería Genética, Microbiología Electrónica, Química - Física, Ingeniería Genética, Proteómica, Química Nuclear, Química Cuántica, Física Cuántica, Física Molecular, Física Estadística, Física Atómica y Nuclear, Cristalografía, Tecnología de Materiales, Bioética y Ciencias de la Salud entre otras.

DESPLIEGUE DE LA NANOTECNOLOGÍA

La nanotecnología está desplegada según los campos de investigación, desarrollo y escala en la que se trabaje. Así:

- ***Nanotecnología seca***; se emplea en la nanoconstrucción de estructuras usando como materia prima átomos de carbono. Los nanotubos aplicados a la nanoelectrónica funcionan según el dopaje como aislantes (ver figura 6), semiconductores o conductores eléctricos. También se aplica la nanotecnología seca en materiales criogénicos, en dispositivos optoelectrónicos, en construcción de dispositivos de estado sólido y en la construcción de ensambladores y autoensambladores moleculares.

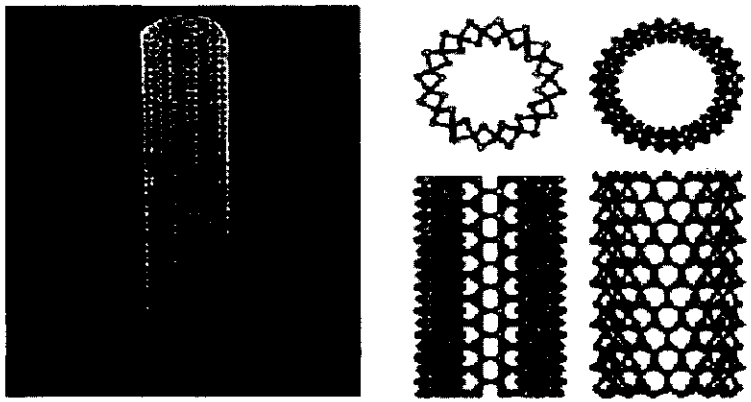


Figura 6. Estructuras de un nanotubo que consta de átomos de carbono distribuidos en forma homogénea formando hexágonos y pentágonos, los cuales le dan gran resistencia y fortaleza mayores inclusive que el acero.

- ***Nanotecnología húmeda***; su desarrollo está dirigido básicamente a la investigación de sistemas biológicos o vivientes que son gobernados a escala nanométrica, tales como el material genético (mapa genético), enzimas, hormonas, proteínas y componentes celulares en general. Se ha comenzado a producir nanomáquinas basadas en proteínas, al igual que el uso de material genético para formar enzimas, las cuales son de por sí máquinas capaces de construir o deshacer moléculas. Estas investigaciones se promueven en la dirección de crear circuitos moleculares y computadoras proteicas.
- ***Nanotecnología computacional***; en ella encontramos la computación cuántica y la computación orgánica o molecular (ADN), también abarca los campos de simulación y modelado de nanoestructuras complejas, como son nanocircuitos y nanotransistores. Combina la nanotecnología seca y húmeda. Se discute si será mejor empezar desde abajo o desde arriba (en tamaño) para llegar a escalas nanométricas. También se cuestiona la viabilidad de una tecnología que deberá "luchar" contra principios físicos como el de Incertidumbre de Heissenberg y sus efectos sobre la física cuántica, el calor desplegado por las vibraciones moleculares, las radiaciones, etc.

ENSAMBLADORES

Uno de los gestores de la nanotecnología molecular Eric Drexler autor de la célebre obra *"Engines of Creation and Nanosystems"* predice que la nanotecnología propenderá a la creación de microrobots y nanorobots y a una revolución industrial sin precedentes. Si llegase a realizarse sus predicciones, la función primaria de los nanorobots será el mantenimiento del cuerpo humano. Por ejemplo: reparación y cableado de tejido cerebral a control remoto, reparaciones corporales tales como arterias, órganos internos, tumores, oídos y ojos sin la necesidad de operación. En este campo se esta trabajando a una escala micro y macroscópica como es la Inteligencia Artificial **IA** (*Inteligencia Nanométrica*), biónica, cibernética, microelectrónica y bioingeniería entre otras.

Drexler plantea la existencia de los ensambladores, los cuales son máquinas moleculares que construyen o ensamblan de abajo arriba bloques o componentes básicos para formar productos. Por ejemplo, máquinas moleculares para tareas específicas o para repetir la misma función que su progenitor, que a su vez crearan otras mayores. Este proceso sigue hasta que las maquinas de ensamblaje configuren el producto final, utilizando como única materia prima cantidades amorfas de átomos necesarios. Se plantea que estructuras como edificios sean construidos por nanorobots capaces de autoreplicarse de tal manera que creen y ensamblen estructuras usando elementos del entorno (átomos y moléculas). Lo que garantiza el uso racional de materia prima. Dicho principio sería aplicado a todo; electrodomésticos, eliminación de residuos, drogas, órganos y tejidos artificiales, nanosatélites, computadoras, reparación de la capa de ozono y exploradores robóticos, obtención de alimentos a partir de síntesis moleculares, producción industrial sin polución y más eficiente, vehículos, naves y estaciones espaciales más livianas y resistentes. ¿Fantasía o realidad? Es posible por ahora, pero la ciencia no se detiene y es solo cuestión de tiempo para que la ficción se haga realidad.

La empresa privada Zyvex, está en la búsqueda de solución al problema de la creación de los ensambladores, trabajando para construir la máquina precursora de ensamblaje. La empresa tiene tres métodos para abordar este problema:

1. Involucrar la creación de dispositivos que pueden fabricar versiones más pequeñas de ellos mismos, y su vez, estos crearían versiones más pequeñas aún.
2. Creación de piezas tipo "Lego" que se pueden manipular y luego armar (montar) en tres dimensiones.
3. Desacelerar una capa de átomos en una superficie, luego ponerlos en orden y después montar encima otra capa de átomos.

Se está investigando en medicina el uso intensivo de enzimas.

Cada una de ellas es una factoría química completa reducida a una escala nanométrica. Estas enzimas han evolucionado durante miles de millones de años para lograr una fabricación ideal de productos químicos. Estas nanomáquinas moleculares son quienes hacen que la vida funcione. Estas investigaciones traen consigo implicaciones evolutivas sin precedentes, es decir, manipular las factorías químicas de la vida involucra cambios en las estructuras atómicas y moleculares de las células, y por ende de las formas de vida macroscópicas. Una emergencia de la vida artificial, evolucionando por si misma, creando su propio espacio dentro de la biosfera.

Con base en lo anterior surge ***La nanotecnología molecular,*** que se extiende a la construcción de proteínas o células bajo parámetros previamente diseñados para el tratamiento de enfermedades (nanofármacos). Se pretende buscar proteínas capaces de reconocer y unir diferentes tipos de materiales inorgánicos con fines de obtener sustancias o bloques de proteínas para aplicaciones específicas, como computadoras moleculares autoconstruidas.

Se podrían crear células ensambladoras, las cuales portarían información para crear órganos o tejido; a nivel biológico los ribosomas leen un cadena de ARN, para obtener instrucciones de acuerdo con las cuales encadenar los aminoácidos que constituyen una proteína, se podría imaginar por un momento el potencial que tendría la nanotecnología si se logra decodificar y codificar correctamente las bases fundamentales de un órgano en particular o en el mejor

de los casos un ensamblador crear un ser humano. Se estaría hablando de inmortalidad y también de manipular la vida a nuestro antojo.

El potencial de aplicación de la nanotecnología en la curación de las enfermedades que se conocen actualmente es efímero, pero con los nuevos descubrimientos no pasará mucho tiempo en que se logren controlar los genes de la vida y con ello la eliminación de las cirugías, también mejoras en el marcado, rastreo y resultados de los *Biochips*. Paralelo a estas investigaciones se pretende diseñar nanorobots con funciones específicas, como son: actuar como ensamblador molecular y poseer la capacidad de replicación, lo que garantizará obtener resultados a gran escala.

Otra aplicación ideal es la erradicación de la contaminación del agua y el aire, la síntesis de oxígeno y madera a partir del dióxido de carbono y agua sin dejar residuos en el proceso. La creación de materiales resistentes y superconductores, manipulación de átomos por medio de nuevos *nanotubos* a través del microscopio de fuerzas atómicas (*AFM*), o del microscopio por efecto túnel (*STM*). La *nanolitografía* para la progresiva reducción de los procesadores. La provisión de nuevas e ilimitadas fuentes de energía permitiendo sustituir de una vez por todas los combustibles fósiles, la construcción de colectores solares cuya forma cristalina esté formada por nanoestructuras de menor longitud de onda a la solar, de tal manera que garantice una mayor captación de fotones y por ende, un mayor aprovechamiento energético.

Teleportación. La nanotecnología molecular da la posibilidad de descomponer molécula a molécula, átomo por átomo, para posteriormente "transportarlos" a velocidades cercanas a la de la luz y reconstruir la misma molécula pero en otro lugar; proceso que incluiría moléculas biológicas. El objetivo a gran escala es la teletransportación de humanos en cualquier punto de la Tierra o en el espacio.

Nanolabolarorios. Constituyen una propuesta en un futuro no muy lejano frente a los laboratorios convencionales que ocupan amplias salas, en donde se podrán diseñar auténticos centros de investigación del tamaño de un microchip.

Una aproximación a este objetivo son los biochips, repisas inteligentes y microarrays.

Otro aspecto que no puede pasar desapercibido es *el tratamiento de la síntesis y funcionalización superficial de nanopartículas*. Es un área de importancia crucial en el campo que emerge de la nanotecnología. Controlar la composición química superficial y dominar su modificación en escalas nanométricas por medio del uso de las nanopartículas. Los usos básicos de la funcionalización superficial se extienden de alterar la adherencia de soldadura o las características de la adherencia y de mejorar la dispersión de las nanopartículas en matrices para realzar las características catalíticas de la sustancia o material.

La creación de sitios superficiales específicos con las nanopartículas para el accesorio molecular es selectiva y se considera como un acercamiento prometedor para sus usos en *nanofabricación, nanosensores, nanomodelado, selfassembly (Ensamble único), bioprobes (Biopuntas de prueba), entrega de droga, pigmentos, Protocatálisis, LED´S (Diodos fotoemisores), materiales nanoestructurados absorbentes, membranas de cerámica, síntesis de templado y síntesis líquida de fase de nanomateriales, estructuras nanoescalares poliméricas y síntesis de materiales catalíticos nanoestructurados, aplicación del STM a la caracterización de estados de superficie, estudio de las propiedades electrónicas de superconductores con el STM, estudio de la estructura de membranas biológicas con AFM, fabricación de nanoestructuras magnéticas sobre aislantes, medición de magnetoestricción con un AFM, estudio de la estructura de capas delgadas de líquidos sobre superficies con AFM, materiales magnéticos grabables de alta densidad, cinética de oxidación local en Si con AFM, nanohilos magnéticos, efecto de la dispersión electrónica en las fronteras de grano en materiales nanoestructurados.*

A la par de estas técnicas, existe la simulación de sistemas nanoescalares y el modelado de las características termofísicas nanoescalares, usando sistemas de cómputo no lineal (complejidad computacional, computación dinámica e hidrodinámica y computación evolutiva entre otras).

La implementación de esta tecnología permitirá obtener materiales con propiedades ideales, los cuales podrían proporcionar estructuras con resistencias mayores y computadoras que no tendrán nada de parecido con las actuales, ya que su procesamiento de datos será en paralelo a escalas atómicas y moleculares, también se pretende crear nanosensores y nanorobots de exploración y reparación de tejidos, nanomáquinas y motores moleculares, circuitos moleculares (Nanoelectrónica – Moletrónica), diseño y síntesis de diadas y triadas de [60] fullerenos para aplicaciones fotovoltaicas hacia materiales moleculares basados en metaloftalocianinas, calixarenos complejos y catálisis de moléculas-motores a moléculas-máquinas y sistemas electrónicos, catenanos y rotaxanos conteniendo metales de transición como prototipos para máquinas y motores moleculares, sistemas y máquinas moleculares, zeolitas como matrices para incorporar huéspedes funcionales de motores moleculares poliméricos a músculos artificiales laminares, síntesis controladas de polímeros emisores de luz, estrategias macromoleculares y supramoleculares a organizaciones helicoidales, nuevos catalizadores nanoporosos de interruptores a motores moleculares.

Para poder llegar a tan anhelado sueño se están implementando nuevos procesos de fabricación en serie que serán más económicos. Con miras a la optimización de productos fruto de la nanofabricación, existen actualmente una serie de métodos para la construcción de estructuras menores a los 100nm, en la que cada una de ellas presenta ventajas y desventajas según su aplicación. Como son: método de fotolitografía (usada actualmente para la impresión de chips), método por sonda exploradora (microscopio de efecto túnel, el microscopio de fuerzas atómicas y el microscopio de sonda de barrido), método descendente en los que se tiene la litografía blanda y la litografía de pluma bañada, y finalmente el método ascendente, que a diferencia del anterior ensamblan átomos o moléculas para formar nanoestructuras.

Actualmente la nanotecnología ha entrado con fuerza en las instituciones académicas en todo el mundo. En ella la industria ha puesto sus esperanzas, ya que se ha demostrado que la inversión en este campo vale la pena, sobre todo en el área de la medicina, donde la biotecnología es pieza fundamental. Por

citar algunos ejemplos: para diagnóstico y terapia en el que se emplean nanoestructuras construidas con materiales inorgánicos, nanopartículas inyectadas en el organismo usadas como marcadores o como medio para almacenar y liberar fármacos en sitios indicados, modificaciones nanométricas de los implantes superficiales tales como una cadera artificial, medios de contraste para detección de enfermedades en fase temprana, Biochips de última generación usado como detector de mutaciones genéticas.

A continuación se procede a enunciar y explicar algunas aplicaciones y desarrollos de la nanotecnología (e indirectamente la nanobiotecnología) que se vienen realizando desde hace algún tiempo en diferentes partes del mundo, usando nuevas técnicas y métodos de solución de problemas a escalas atómicas, microscópicas y mesoscópicas.

Máquinas moleculares

Entre ellas se tienen los músculos, los cuales convierten la energía química derivada de los alimentos en fuerza mecánica. Este proceso de conversión que aun no se conoce muy bien es un problema importante en la biología. Un músculo esquelético de un vertebrado está hecho de muchas células denominadas fibras, integradas por un conjunto de miofibrillas cilíndricas. Dentro de cada una de estas miofibrillas hay pequeñas unidades básicas de producción de fuerza, similares a pequeños motores lineales denominados *sarcómeros*, que están integrados por los filamentos gruesos, formados por la proteína miosina y los filamentos delgados por la actina. Cuando una señal transmitida por un nervio llega a un músculo dispara su contracción y acortamiento. Con el descubrimiento de la estructura cristalográfica de la cabeza de miosina se está comprendiendo cómo los motores moleculares o cabezas de miosina, pueden producir fuerza y cómo ésta se controla.

Otro aspecto a tener en cuenta es saber cómo se controla la contracción muscular al incrementarse la concentración de calcio y entender por qué en algunos músculos un incremento en la concentración de calcio libera las cabezas

de miosina de la superficie del filamento. Estos estudios están enfocados al estudio de la enfermedad llamada Cardiopatía Hipertrófica Familiar *(CHF)*, caracterizada por un engrosamiento anormal del músculo papilar y de la pared del ventrículo izquierdo y el septum ventricular. Lo anterior es de sumo interés para comprender más sobre esta y otras enfermedades musculares, al igual que abre las puertas para la experimentación en biónica, con materiales híbridos o sintéticos (materiales inteligentes, biomateriales).

Actualmente se ha creado un motor de ADN que es 100.000 veces más pequeño que la cabeza de un alfiler y la técnica que usan llevarían a la producción de ordenadores 1.000 veces más potentes que los actuales. El ADN ejerce de carburante para estos motores lo que implica que sean completamente autosuficientes y no requieran más operaciones ni manipulaciones químicas. La primera idea sobre motores de ADN fue de Bernard Yurke físico de Bell Labs, el cual observó que los motores de proteínas a escala molecular en los organismos vivos son los responsables de las contracciones musculares y del movimiento de las células. La existencia de motores moleculares biológicos le hizo pensar en la posibilidad de construir motores moleculares sintéticos basados en procesos nanotecnológicos.

Los catalizadores de zeolita

Son minerales con poros menores a un nanómetro capaces de separar gases o líquidos con base en el tamaño y forma molecular, su función es partir las grandes moléculas de hidrocarburos y con ello formar gasolina. Existen catalizadores nanoporosos que actúan como interruptores de motores moleculares poliméricos y músculos artificiales laminares, su estructura está enhebrada por una red de túneles interconectados y jaulas, similar a un panal de abejas. Un tanque de combustible con estos cristales podría entrampar y guardar el gas de hidrógeno sin necesidad de someterlo a un estado criogénico, con lo que per-

mitiría acelerar la investigación en nuevos sistemas de propulsión de naves espaciales, o en el reemplazo de combustibles contaminantes, por motores propulsados por hidrógeno, caso que merece enunciar es una empresa canadiense, cuyos autobuses usan motores propulsados por hidrógeno, generando como único residuo vapor de agua, que no es nocivo para la salud del hombre ni daña la naturaleza.

En medicina molecular

La nanotecnología es utilizada para encapsular fármacos, la empresa Gilead Sciences, utiliza esferas de lípidos de una diámetro de aproximadamente 100nm, que encapsulan un fármaco anticáncer para tratar la enfermedad conocida como Sarcoma de Kaposi que está asociado con el SIDA.

El Instituto Curie ha planteado una nueva técnica de rastreo molecular llamada *Ephesia*, basada en nanopartículas magnéticas con la propiedad de organizarse en un labchip. Estas nanopartículas esféricas son diminutos imanes colocados en una suspensión acuosa, que al aplicarse un campo magnético sobre esta, las nanopartículas se alinean según las líneas del campo, volviendo a su estado original al eliminar dicho campo. Esto se hace con el fin de que estas filas de partículas actúen como una barrera semipermeable de fácil regulación según el tamaño de las muestras a filtrar, de tal manera, que al pasar varias moléculas por esta se separan según su tamaño.

La aplicación de Ephesia, se extiende al análisis del ADN, cuyo proceso es corto a diferencia de los métodos convencionales. Otra futura aplicación es la identificación de tipos celulares al injertar anticuerpos específicos en las nanopartículas, al igual que la identificación de las células cancerosas que han hecho metástasis.

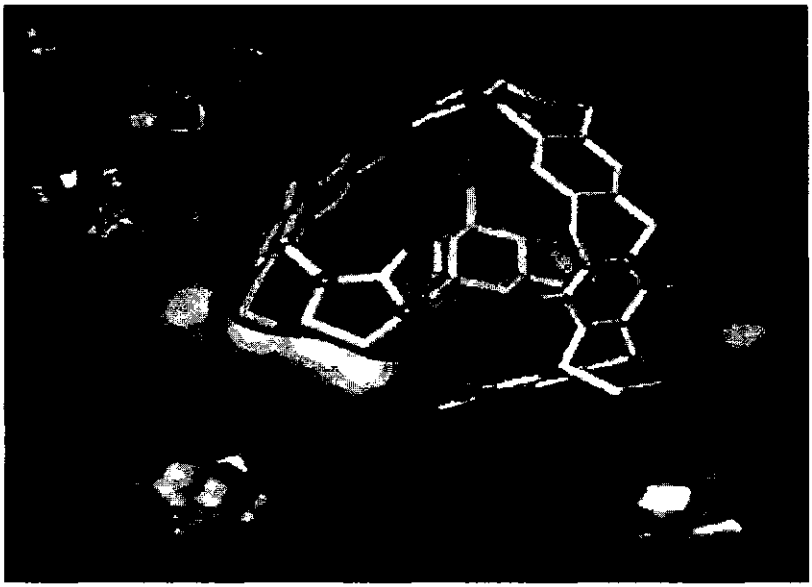


Figura 7. Modelo computacional de una molécula ensambladora que actuaría para codificar proteínas y/o enzimas en procesos celulares. Cortesía de IMM. Institute for Molecular Manufacturing. www.imm.org.

En la fabricación de materias primas como son los *nanotubos o nanoestructuras*, al igual que nanocristales, todos ellos tienen dimensiones que oscilan entre los muy grandes de 800nm hasta los más pequeños de 11nm. Por ejemplo los nanotubos de carbono de una sola capa, formados por configuraciones geométricas hexagonales de átomos de carbono, presentan un doble comportamiento, como lo es de ser metálicos o semiconductores, donde la diferencia radica en el diámetro del nanotubo y la helicidad que describe el ángulo de torsión del tubo haciéndolo elástico y resistente, a parte de no poseer defectos o dislocaciones lo hace poseer alta resistencia a las tracciones, presentan propiedades mecánicas, ópticas, magnéticas y eléctricas fuera de lo común, lo que permite entre otras cosas llenarlos con moléculas metálicas ya que estas no tienen ninguna interacción con las paredes haciéndolas ideales como lubricantes.

Nanocircuitos y electrónica molecular (Moletrónica)

Se han construido ya nanotransistores y filamentos nanométricos que oscilan entre 4 y 10nm de diámetro de manera independiente, es decir, aun no se han podido ensamblar a gran escala debido a que no existen dispositivos que permitan ensamblarlos a escala industrial. Para citar un ejemplo en los avances de este campo está el Transistor de Efecto Túnel Cuántico; su obtención se logra aplicando la técnica conocida como epitaxia por rayos moleculares, que consiste en la deposición de capas de material del espesor de un átomo sobre un sustrato, entendido éste como la base para el crecimiento del transistor.

La función del transistor es de regular el flujo de electrones entre dos capas de GaAs (arseniuro de galio) de espesor 15nm, separados por una barrera de AlGaAs (arseniuro de galio aluminio) de 12nm de espesor. A pesar que los electrones de la primera capa no poseen energía suficiente para penetrar la barrera en términos clásicos, existe la probabilidad a nivel cuántico, que traspasen la barrera en forma ondulatoria, de tal manera que no interactúan con los átomos de impurezas, en contraste con un transistor convencional en el que los electrones son tratados como partículas, los cuales son frenados por las múltiples colisiones con los átomos. Los nuevos transistores efectuarán conmutaciones de apagado y encendido de 10^{18} veces por segundo, es decir, cinco veces más rápido que los transistores de última tecnología. Se espera conseguir que estos dispositivos trabajen a temperatura ambiente, ya que actualmente operan a temperaturas criogénicas (77°K).

La electrónica molecular está dividida a la vez por ciencias nanoescalares propias, como son:

Electrónica de espín (espintrónica) que se subdivide en:

Fabricación de uniones túnel magnéticas

Se utilizan electrodos de óxidos ferromagnéticos de valencia mixta, donde los valores más altos de magnetorresistencia a temperatura ambiente han sido

obtenidos en uniones formadas por electrodos metálicos y barreras de alúmina amorfa, cuya aplicación está dirigida a la construcción de dispositivos de espín y sensores magneto-resistivos.

Despolarización en interfases

Una capa magneto-resistiva única sobre un sustrato monocristalino constituye un punto de partida conveniente para avanzar en la comprensión de los mecanismos subyacentes en la despolarización en las uniones ferromagnéticas (FM/I) e interfases y las características de las interfases propias.

Se pretende dilucidar los factores estructurales, es decir, el desajuste entre las redes ferromagnéticas e interfases, que contribuyen a la aparición de una capa no ferromagnética en la intercara de un cristal. El objetivo es diferenciar los efectos, puramente elásticos o plásticos, de readaptación de las redes cristalinas a causa del desacoplamiento estructural, y de diseñar estrategias para poder eventualmente minimizarlos.

Heteroestructuras FM/I/FM

Los dispositivos de inyección túnel de espín polarizados exigen, en general, el crecimiento de heteroestructuras FM/I/FM. Es decir, fabricar una válvula de espín, por ejemplo, implica tres capas y dos interfases. El objetivo es diseñar y fabricar estas heteroestructuras y determinar sus prestaciones de tal forma que sean operativas a la temperatura más alta posible.

Se quieren fabricar heteroestructuras y determinar la conductancia y su dependencia en el campo aplicado y la temperatura. El objetivo, naturalmente, es conseguir el máximo cambio de conductancia y en el rango de temperatura más amplio posible. Para ello se debe lograr minimizar la despolarización de interfase.

La naturaleza y espesor de la barrera, su compatibilidad con la capa ferromagnética, el área de la unión, y la microestructura y rugosidad de las interfases serán claves para controlar la respuesta magneto-resistiva, esto con el fin de

crear procesos de litografiado y marcado, y a partir de las heteroestructuras obtenidas fabricar uniones túnel de tamaño de 10μm y 300μm de diámetro, que se caracterizarán mediante medidas de magnetotransporte.

Materiales granulares en forma de lámina delgada

La magnetorresistencia gigante observada en sistemas heterogéneos en los que granos ferromagnéticos se encuentran embebidos en matrices metálicas no magnéticas es algo que se conoce desde hace algún tiempo. Más recientemente se ha observado magnetorresistencia elevada en heteroestructuras en las que granos ferromagnéticos desconectados (Co) se encuentran dispersos en una matriz aislante (Al_2O_3); en estos casos la conducción se produce por efecto túnel o por *hopping* térmico. Aunque en ambos tipos de materiales la magnetorresistencia presenta valores similares, la resistividad llega a diferir hasta en 10 órdenes de magnitud. En este campo se interesa en el estudio de los mecanismos de imanación y de cómo ellos influyen en las propiedades de magnetotransporte. La reducción del tamaño da lugar a efectos de superficie, efectos de confinamiento y aparición de nuevos fenómenos cuánticos en la escala nanométrica. Es importante, por ejemplo, mencionar que quizá una de las características que definen a los nanoobjetos es la creciente importancia de efectos cuánticos, lo que en ocasiones se utiliza como definición del dominio de la Nanociencia.

Otros puntos importantes son:

- Efectos de superficie y de interfase y su influencia sobre la imanación, la anisotropía magnética y la dinámica de estos clústeres.
- Efectos cuánticos de tamaño finito, que modifican la estructura de niveles electrónicos y por tanto, también la respuesta magnética.
- Estudio de la dinámica cuántica de la imanación.

Un campo sin explorar es el de las heteroestructuras en las que la capa entre electrodos ferromagnéticos sea una lámina delgada, en la que granos

ferromagnéticos de una aleación de Tierra Rara con metal de transición (TR-MT) estén dispersos en una matriz aislante. El hecho de que se utilice una aleación en lugar de gránulos de tierra rara pura se debe a que, a pesar de haberse realizado numerosos intentos, no se ha encontrado evidencia de magnetorresistencia gigante en estructuras tipo tierra rara - metal no magnético. Esto debe asociarse a que en las tierras raras metálicas los orbítales 4f que dan lugar al magnetismo están muy localizados y la polarización de espín es muy pequeña. Sin embargo, el caso de las aleaciones TR-MT puede ser muy distinto. Se trata de un campo sin explorar en el que, por otro lado, el papel de la anisotropía impuesta por la tierra rara (p. ej. Tb) puede dar lugar a una nueva fenomenología en el caso de que estos sistemas mostrasen magnetorresistencia por efecto túnel.

En estos sistemas granulares de TR, ahora tanto con matrices aislantes como conductoras, se estudia el acoplo magnetoelástico, partiendo del caso de las TR puras y de sus aleaciones con metales como el Fe y el Co, en los que como compuestos masivos se da una magnetostricción elevada. La interacción con la matriz metálica (p. ej. Mo, Ag, Cu) o aislante (p. ej. Al_2O_3, SiO_2) puede dar lugar a un comportamiento magnetoelástico muy distinto al del material masivo.

Los comportamientos sobresalientes, origen del interés tecnológico de los sistemas aquí considerados, además de aspectos cualitativos de su composición, y por supuesto del tipo de superestructura (láminas, hilos, partículas, tipos de matriz, etc.) como materiales compuestos que lo son, dependen así mismo de su microestructura en el sentido clásico de la palabra. Este aspecto es bien conocido tanto en aleaciones como en cerámicas magnéticas de uso industrial (el procesado y microestructura afecta directamente a los parámetros magnéticos) pero también se ha mostrado crucial en las propiedades de magnetotransporte de sistemas granulares, que desde este punto de vista, subyace la importancia de las investigaciones sobre la correlación entre las dimensiones micro y nanoestructuras, resultado de los parámetros de síntesis y procesado de las aleaciones involucradas, especialmente las granulares, y los comportamientos macroscópicos requeridos. El comportamiento estrictamente magnético es especialmente sensible a estas variaciones, ya que puede informar de forma global

sobre la microestructura, sirviendo como complemento a la información local que la microscopia electrónica, de fuerza magnética u otras técnicas sensibles en la nanoescala pueden ofrecer a la nanotecnología como tal.

Nanoestructuras magnéticas

Su estudio está centrado en aplicaciones industriales orientados al almacenamiento de datos a nivel magnético, sensores magnéticos, ensambladores magnéticos túnel, memorias de acceso al azar y dispositivos espintrónicos. Se aplican métodos preparatorios, procesado nanoescalar, películas finas, partículas, alambres y puntos cuánticos, caracterización espectroscópica, micro/nanoestructuras, nanoestructuras semiconductoras, nanopartículas, nanoestructuras de carbono, teniendo en cuenta sus características físicas y potenciales usos industriales. Esta técnica está basada en fenómenos magnéticos, materiales magnéticos, ciencia de materiales, física de estado sólido, ingeniería electrónica y óptica, almacenaje de datos magnético y tecnología de la información.

A escala industrial, se usan los sistemas bidimensionales como las láminas delgadas (multicapas y superredes) y monodimensionales como los nanohilos, que se obtienen actualmente por una variedad de técnicas, como son:

Multicapas y superredes.

Las nanoestructuras constituidas por láminas delgadas de diferentes tipos de materiales metálicos son la base de los nuevos dispositivos basados en materiales artificiales inteligentes, en donde la composición de las capas pueden tomar parte en diversos metales de transición (3d) y aleaciones de los mismos, así como metales de Tierras Raras con alto grado de pureza y bien aleados con metales de transición.

Tricapas de metales 3d.

El estudio del magnetismo de los metales 3d (Fe, Co, Ni) es fundamental ya que al ser de los pocos metales que presentan momento magnético a temperatura ambiente son ampliamente utilizados en todo tipo de aplicaciones. Es

por ello que el estudio de los efectos debido a la tensión epitaxial o a la presencia de interfaces en capas finas de estos elementos se estudia y analiza cuidadosamente. En general, en un proceso de crecimiento epitaxial[1] si la diferencia entre los parámetros de red del elemento que se incorpora sobre un sustrato y éste es grande, la energía elástica se absorbe por la aparición de dislocaciones en unos pocos planos atómicos, sin embargo, se ha observado que en estructuras formadas por elementos con diferencias de parámetros de red del orden del 2 %, la deformación epitaxial se mantiene en un valor elevado de aproximadamente 1% en un rango de espesores de hasta 10nm. En capas finas de metales 3d epitaxiales esta tensión interna modifica la anisotropía magnética de tal manera que la imanación puede llegar a orientarse fuera del plano de crecimiento, como se ha observado en el caso de láminas monocristalinas de níquel. Este comportamiento sugiere la posibilidad de control de las propiedades magnéticas del material mediante la aplicación de una tensión interna inducida por el crecimiento epitaxial de una capa magnética sobre una capa con una composición seleccionada y por lo tanto la anisotropía magnética en algunos materiales.

Multicapas y superredes de Tierras Raras – Metal de Transición.

Las aleaciones TRxTR'1-x (MzM'1-z)n, (TR y TR' = Tierras Raras; M y M' = metales de transición) en su forma de compuestos masivos ("bulk"), son sistemas de elevada magnetostricción. En particular, una elección adecuada de las Tierras Raras y de los metales de transición, y de sus concentraciones, ha permitido obtener materiales con magnetostricción muy elevada en campos magnéticos moderadamente bajos y a temperatura ambiente. El interés que tiene la preparación y caracterización de materiales con magnetostricción gigante en forma de películas delgadas o multicapas radica en su utilización

[1] El crecimiento epitaxial significa el proceso mediante el cual una película orientada cristalográficamente crece sobre un sustrato monocristalino que le sirve como modelo y fija dicha orientación.
Si bien existen muchas variantes puede decirse que, fundamentalmente son los tres los métodos más ampliamente usados en la actualidad.
- Epitaxia en fase de vapor VPE.
- Epitaxia en fase líquida LPE.
- Epitaxia por haces moleculares MBE.

como actuadores, sensores y generadores ultrasónicos magnéticos en microdispositivos electromecánicos. En este sentido, el conocimiento en detalle de las propiedades magnetoelásticas básicas de dichas estructuras artificiales ha merecido una atención especial, dado que puede proporcionar indicaciones de qué tipo de materiales (Composición del intermetálico de Tierra Rara), sustratos (vidrio, metal, polímeros, etc), método de preparación, etc. son los más adecuados para lograr las características magnetoelásticas deseadas. Por ejemplo, se sabe que en superredes de Tierras Raras y películas epitaxiales, la deformación debida al desajuste de parámetros de red es responsable de que las fases magnéticas que se encuentran en esos sistemas artificiales sean diferentes de las que existen en los materiales masivos correspondientes.

El objetivo de este estudio está dirigido a la fabricación de nanoestructuras que incluirían películas delgadas con propiedades de imán permanente, con lo que se integraría en un solo conjunto el material magnetoestrictivo y una película que produjese el campo polarizante, por ejemplo para discos duros macizos. La introducción de un bloque magnéticamente más blando entre las capas de un material duro podrá reducir substancialmente el campo coercitivo, lo que es deseable a la hora de minimizar las pérdidas magnéticas en los dispositivos.

Nanohilos

El uso de materiales porosos como molde, permite preparar hilos de diferentes metales magnéticos que tienen un diámetro comprendido entre 6nm y 200nm, cuya longitud puede llegar a 20°m. Los hilos magnéticos representan un caso intermedio entre las partículas monodominio y los imanes macroscópicos. Por ello, su comportamiento magnético comparte características de ambos. En ausencia de un campo magnético, la anisotropía inducida por la forma favorece una configuración monodominio, en la que la imanación es paralela al eje del hilo, sin embargo, la configuración monodominio se puede romper durante el proceso de inversión de la imanación como respuesta al cambio del campo magnético aplicado. Cuando el diámetro se hace del orden de la anchura de una pared de dominio, el mecanismo más favorable es la nucleación de

un dominio de imanación invertida y el desplazamiento de una pared de dominio de Néel. Se pueden obtener nanohilos de Fe, Co y Ni de diámetro entre 6nm y 50nm en una matriz de Al_2O_3. Los experimentos limitados a temperaturas superiores a 1.8 K, confirman el mecanismo anteriormente citado y muestran además que la tasa de relajación decrece al bajar la temperatura (Criogenía). Estos experimentos están también de acuerdo con simulaciones numéricas para nanohilos finitos. La nucleación de la pared ocurre preferentemente en los extremos del hilo y tiene lugar por activación térmica (alta temperatura).

El objeto de estudio es observar los mecanismos de relajación de la imanación de nanohilos de Fe, Co y Ni que oscilan entre 6nm y 100nm de diámetro preparados por electrólisis, también se investiga si la activación térmica da lugar a un mecanismo de efecto túnel incoherente, caracterizado por una tasa de relajación independiente de la temperatura, a temperaturas inferiores a 1 K. Este caso es de particular interés, porque demostraría la existencia de efecto túnel entre dos configuraciones magnéticas distinguibles que describen el estado físico de más de 10.000 átomos.

Nanocontactos

Se ha puesto de manifiesto recientemente las extraordinarias propiedades de magnetotransporte que tienen lugar en las nanoconstricciones. Cuando un hilo metálico se llega a alargar tanto que el número de canales de conducción llega a ser contable, se puede llegar a observar la cuantificación de la conductancia. Al punto de la ruptura comienza el proceso de conducción por efecto túnel. Otra posibilidad de observación de estos fenómenos se puede llevar a cabo aproximando dos puntas de un metal hasta formar un contacto. Cuando los metales utilizados son ferromagnéticos la estructura de dominios en la región del nanocontacto tiene una gran influencia en las propiedades de magnetotransporte bien esté dominado por el régimen túnel o balístico. Se ha observado magnetorresistencia gigante a bajo campo en nanocontactos de Ni. La técnica de electrodeposición se puede utilizar para crear estos contactos de una forma estable.

Nanofases y mesofases auto-organizadas.

Este es un campo extenso y ha ampliado el campo de investigación de la nanotecnología escalar. Por una parte las fases de tamaño nano o mesoscópio se pueden obtener bien por la obtención de estructuras con carácter metálico, semiconductor o aislante utilizando técnicas de preparación de tipo físico o químico, lo que se podría llamar procedimientos extrínsecos y por otra parte, estas nano y mesofases pueden aparecer intrínsecamente en un sólido. Este último campo ha surgido con gran intensidad a nivel internacional, pues se propone la observación de inhomogeneidades intrínsecas que originan coexistencia de estados aislantes y paramagnéticos, coexistiendo con estados metálicos y ferromagnéticos (por ejemplo los sistemas en que se estudian son las manganitas de valencia mixta).

Nanotubos

Los nanotubos son el tercer estado del carbono, al igual que nanocristales, todos ellos tienen dimensiones que oscilan entre los muy grandes de 800nm hasta los más pequeños de 11nm. Se han identificado las firmas ópticas de 33 clases de nanotubos de carbono. Su obtención se efectúa al hacer pasar un arco eléctrico a través de dos barras de grafito, que al vaporizarlas se obtiene una masa tipo hollín cuya estructura cristalográfica es de 60 carbonos distribuidos en forma de bola llamada Buckybolla o fullereno; que son macromoléculas, arreglos de carbono de dimensiones nanométricas que exhiben propiedades específicas: superconductividad térmica, eléctrica, alto módulo de Young, arreglos hexagonales y pentagonales específicos.

Los nanotubos de carbono de una sola capa, formados por configuraciones geométricas hexagonales de átomos de carbono, presentan un doble comportamiento como lo es de ser metálicos o semiconductores, y la diferencia radica en el diámetro del nanotubo y la helicidad que describe el ángulo de torsión del tubo haciéndolo elástico y resistente, a parte de no poseer defectos o dislocaciones lo hace poseer alta resistencia a las tracciones (100 veces mayor que el acero, pero con un sexto de su peso), alta deformación a rotura, presentan

propiedades mecánicas óptimas a nivel óptico, magnético y eléctrico fuera de lo común, lo que permite entre otras cosas llenarlos con moléculas metálicas, ya que estas no tienen ninguna interacción con las paredes haciéndolas ideales como lubricantes, o llenarlos con gases, como hidrógeno.

En aplicaciones fotovoltaicas, el diseño de síntesis de díadas y triadas de fullerenos de 60 carbonos pretenden revolucionar los acumuladores de energía creando materiales basados en metaloftalacianinas, también pueden utilizarse para crear sondas no invasivas en materiales, desalinizar y purificar agua, sondear células, manipulaciones genéticas y de utilizarlos en la superficie de naves espaciales o para crear pistas electrónicas 100 veces más estrechas que las que existen en los circuitos de los microchips de silicio más avanzados hoy en día.

A nivel biológico se ha demostrado que al sintetizar moléculas con propiedades similares a las del ADN que se adaptan mejor a la estructura de los nanotubos, tienen más estabilidad térmica y están exentos de degradación enzimática. Además, esas moléculas, llamadas PNA, son compatibles con los disolventes orgánicos a los que están sometidos los nanotubos de carbono y facilitan su ensamblaje, convirtiéndolos en materia prima para la fabricación de biosensores, transistores de un solo electrón y otros dispositivos nanotecnológicos.

La tecnología de los nanotubos está usándose en prototipos de pantallas para publicidad, para celulares, monitores y televisión. Dependiendo de su aplicación los nanotubos se clasifican en cuatro familias:

- La primera es la de Carbono o grafítica, que es una malla tubular hexagonal abierta con infinidad de aplicaciones entre las más importantes está la Nanoelectrónica y la Física de Semiconductores.
- La segunda es de Boro Y Nitrógeno, su configuración es igual que el primero, pero con la diferencia que las moléculas de Boro y Nitrógeno ocupan de forma alterna los nodos de la red haciendo que ésta sea abierta. Por ejemplo el nitruro de boro tiene una alta estabilidad química, es un mate-

rial aislante y tiene propiedades refractarias, resistencia a altas temperaturas y fibras químicamente resistentes. Estos nanotubos pueden rellenarse con núcleos metálicos y no metálicos para formar estructuras en forma de cable para ser usados posteriormente como material cerámico en microelectrónica y como catalizadores (en el caso concreto de relleno con óxido de alfa-aluminio).

- La tercera es conocida como de Doble Capa Lipídica, que consiste en un sistema de moléculas carbonadas complejas unidas por medio de un nanotubo.
- La cuarta es conocida como Citoesqueleto, el cual es el armazón interno o bioestructura de las células y le brindan estabilidad y rigidez a parte que cumplen el papel de intercambiador de iones celulares.

Macro aplicaciones de nanotubos, se puede citar la de cables con altas propiedades mecánicas; los que podrían utilizarse en la construcción de puentes en suspensión, construcciones resistentes a impactos de terremotos o de elementos naturales, también se plantea como cables superconductores a temperaturas de alrededor de 20 Kelvin.

La propiedad de los nanotubos de sostener esfuerzos axiales en ciertos niveles, lo hace ideal para ser una útil como herramienta de sondeo microscópico, como sondas celulares para ingeniería genética, que inyecten directamente el material a la célula blanco sin perturbar a las demás. Sondas para explorar materiales sin dañarlos en la exploración, microfabricación rápida de mezcla de fluido para proteínas en experimentos de plegaduras, nanofabricación de series para sondear funciones celulares a nivel nanoescalar, sensores para neurotransmisores y detectores, nanotecnología para predicción de eficacia y toxicidad en drogas, propiedades de fabricación de materiales biodegradables, nanoestructuras para accesibilidad de transporte enzimático, ensamblaje nanoestructurado biológico, electroquímica y electrónica integrada para el uso como dispositivo biosensor paralelo, computación reversible (lógica reversible y lógica helicoidal).

Debido a su flexibilidad es posible utilizarlos como absorbentes de golpes. Se pueden utilizar para transmitir calor en una dirección, ya que tienen una gran conductividad térmica a lo largo del tubo. El objetivo es poder hacer nanoalambres que revolucionen la industria de ordenadores al crear procesadores y difusores de calor más pequeños que los actuales, envolviéndolos con boronitrato se hace posible aislarlos del ambiente.

Recientemente se estudia la posibilidad de la desalinización del agua y utilizarlos en plantas de tratamiento de aguas residuales. Debido a su gran conductividad y su razón de área a volumen los nanotubos son más eficientes en remover del agua sales y otros compuestos que el carbón.

En medicina, se plantea la posibilidad de utilizar nanotubos para enviar directamente a las células el material genético, a la par de tratar infecciones y otras enfermedades directamente en el foco de origen; con los nanotubos no se perfora la piel ni se dañan otros órganos, se dirige específicamente al blanco deseado.

Matrices nanométricas

Frente a la preparación de materiales granulares en forma de película delgada se utilizan otras técnicas que permiten obtener pequeñas partículas de metales de transición (Mn, Fe, Co y Ni), de aleaciones y de óxidos. Para la obtención de estas partículas se ha desarrollado la preparación de materiales soporte de las partículas magnéticas, tales como las estructuras grafíticas y membranas zeolíticas.

Estructuras grafíticas.

El estudio está centrado en la influencia de los diferentes parámetros de producción (catalizadores metálicos, presión, gas inerte, flujo) sobre el crecimiento de nanotubos así como la eficacia de los diferentes métodos: arco eléctrico y láser, y por energía solar. La purificación de estas muestras es indispensable para desarrollar aplicaciones potenciales de nanotubos, ya que con cualquiera de los métodos de obtención utilizados hasta la fecha aparecen junto a los nanotubos, partículas nanografíticas, carbono amorfo y nanopartículas metálicas.

Además de la utilización en nanoelectrónica algunos de los usos que se prevén para los nanotubos incluyen:

- Uso como "Materiales Avanzados" para reforzamiento estructural de composites de bajo peso y alta resistencia, y fabricación de polímeros conductores.
- Almacenaje de energía (almacenamiento de hidrógeno en células de combustible y baterías de litio).
- Dispositivos ópticos y electrónicos (nanocomputadoras y pantallas planas), los puntos cuánticos funcionan como transistores solo cuando trabajan a unos varios grados kelvin por encima del cero absoluto, en cambio los nanotubos pueden trabajar como transistores a temperatura ambiente.
- Sensores químicos y biosensores.
- Dispositivos biomédicos.
- Conductores unidimensionales.

Los fullerenos y nanotubos proporcionan una importante base para la investigación en nanoestructuras pudiendo utilizarse como material de partida para síntesis de nanoestructuras vía autoensamblado. Debido a sus propiedades y simetría que son candidatos ideales, para actuar como alambres cuánticos, interconectores e incluso dispositivos para electrónica molecular.

Fabricación y uso de películas cristalinas con poros de tamaño subnanométrico.

Las membranas zeolíticas son estructuras bidimensionales con un espesor de unas pocas micras, constituidas por unidades estructurales cuyo tamaño de poro, dependiendo del tipo de zeolita, se sitúa entre los 3Å y los 8Å[2], debido a que estos poros son del tamaño de las moléculas, esta característica proporciona a los materiales zeolíticos la capacidad de llevar a cabo interacciones de alta selectividad con mezclas de compuestos, realizando separaciones a nivel molecular. La investigación está dirigida al desarrollo de nuevos procesos de fabri-

[2] Un Angstrom equivale $1Å = 10^{-10}m$.

cación de películas zeolíticas sobre diferentes soportes, estudio de su escalado para producción industrial, producción de películas zeolíticas de tamaño de poro inferior a 3Å. Desarrollo de métodos para la producción de nanopartículas (<50nm para partículas de zeolita, <5nm para partículas de Pd). Métodos de deposición de nanopartículas sobre distintas superficies. Desarrollo de estructuras compuestas zeolita-Pd. Aplicación de membranas zeolíticas para llevar a cabo separaciones extremas (por ejemplo la eliminación de contaminantes a nivel de trazas en aire o en agua), y para la integración a nivel microscópico de procesos de reacción y separación.

Metales 3d encapsulados en estructuras grafíticas.

El descubrimiento de los fullerenos y estructuras grafíticas relacionadas (nanotubos, cebollas, carbón amorfo y cristales grafíticos) han dado un impulso inusitado a la física y química del carbono. Pues el objetivo es el de obtener y caracterizar pequeñas partículas magnéticas encapsuladas en matrices grafíticas, y a través de técnicas microscópicas se puede dar una descripción detallada del estado magnético de la nanopartículas y discernir sobre la posible presencia de carburos. La finalidad de estas investigaciones es por una parte estudiar el comportamiento magnético y la posibilidad de preparar bioferrofluidos, dado que las partículas magnéticas encapsuladas por carbón pueden ser emulsionadas en agua y de esta forma poder se utilizadas en seres vivos con fines terapéuticos.

"Clusters" de metales 3d en Zeolitas.

Cuando el tamaño de las partículas es tan pequeño que están formadas por unos cuantos átomos, se habla de cluster, cuyas propiedades magnéticas cambian significativamente. No se está hablando del comportamiento superparamagnético, sino del momento magnético intrínseco de los átomos. En estos clusters la representación que se tiene del comportamiento en el sólido deja de ser adecuado, debido a que una gran fracción de los átomos se encuentra sobre la superficie donde la estructura electrónica es diferente a la del material masivo. Se han efectuado experimentos sobre clusters inestables en un haz molecular por desviación en presencia de un campo magnético con el fin de determinar su comportamiento con la materia.

Desarrollo de sensores electroquímicos de selectividad mejorada mediante filtros moleculares.

Dentro del campo de los materiales inteligentes existe un gran interés por la producción de sensores electroquímicos miniaturizados de bajo costo para aplicaciones industriales y domésticas. Aunque se han obtenido altas sensibilidades en la respuesta de sensores catalíticos basados en óxidos semiconductores dopados con metales nobles, el principal problema sigue siendo la falta de selectividad de éstos que reaccionan de forma similar ante una amplia variedad de sustancias. En este campo, se plantea el desarrollo de sensores de selectividad mejorada mediante deposición de películas de nanopartículas adsorptivas, o bien mediante el crecimiento de películas zeolíticas sobre el elemento sensor preexistente. Se pretende obtener una mejora en la sensibilidad de los detectores interponiendo un medio (filtro molecular) con propiedades especiales, de forma que sólo lleguen a las proximidades del detector (o que lleguen en mayor proporción), moléculas con unas determinadas características.

Es claro que al trabajar a tan pequeñas escalas no es nada fácil, pues los sistemas actuales, tales como los microcircuitos traban a una escala muy superior, su orden oscila entre los micrómetros (10^{-6}m) y los 200nm aproximadamente. Para el grabado de una pastilla de silicio de un computador actual se utiliza la técnica de fotolitografiado, donde se realiza el circuito en el microchip. El fotolitografiado tiene un límite para desarrollar la impresión correctamente, y este límite lo dicta la longitud de onda del láser que graba el esquema del microcircuito en la película de polímero fotosensible, el cual se halla depositado sobre una capa de cromo y un sustrato de vidrio. Las zonas del polímero expuestas al haz se eliminan selectivamente. Las partes expuestas al cromo se eliminan también y el resto del polímero se disuelve, el resultado es una máscara equivalente a un negativo fotográfico. Cuando se dirige la luz UV, esta atraviesa los huecos dejados en el cromo. El esquema se reduce por medio de una lente que enfoca la luz sobre la capa de fotoresina que recubre la oblea de silicio. Las partes expuestas de la fotoresina se eliminan, lo que permite la reproducción del esquema en miniatura sobre lo chips de silicio. El proceso continua hasta formar sustratos en la oblea, donde cada uno cumple la función de aislante y conductor eléctricos.

Actualmente con esta técnica se obtiene microprocesadores con más de 80 millones de transistores. Se calcula que en el 2015 tal número podría estar cerca de los 5.000 millones.

El haz de luz láser ultravioleta que ronda los 250nm, es demasiado grande para los propósitos de la nanotecnología. Otra opción que se ha planteado para reemplazar el láser son los rayos X, con longitudes de onda que oscilan entre 0,1nm y 10nm o por luz en el ultravioleta extremo, con longitudes de onda de 10nm a 70nm. El problema principal radica en que las lentes que se utilizan para focalizar los haces no enfocan los rayos X y son transparentes a la luz UV extrema, a parte de otros factores energéticos y de costos, que se deben considerar si se desea sacar partido a escala industrial.

Se han planteado algunos métodos que se hallan en proceso de desarrollo para construir estructuras de tamaño menor a los 100nm. No se profundiza demasiado en ellas, puesto que una descripción más detallada se sale del objetivo del presente trabajo.

Los métodos son:

- Fotolitografía
- Litografía blanda
- Métodos por sonda exploradora
- Métodos ascendentes.

El primer método es muy similar al explicado arriba, la diferencia radica en el haz de luz a utilizar o los rayos X.

Los métodos segundo y tercero pertenecen al género de los métodos descendentes, es decir, separan o agregan moléculas a una superficie. El cuarto método ensambla átomos o moléculas para formar nanoestructuras.

Para poder aplicar los procesos dados, se requieren equipos de alto grado de precisión a escala atómica como son: el microscopio de barrido por efecto

túnel y el microscopio de fuerzas atómicas, que están acompañados por software diseñados para visualizar, diseñar y modelar moléculas.

El hecho que existan métodos experimentales para la nanofabricación no implica que todo está hecho, pues existen muchos interrogantes alrededor de estas técnicas, ya que al trabajar a tan pequeñas escalas, las leyes físicas clásica y cuántica se hibridan en una fase de mesoescala, donde existen muchos fenómenos que aun no se entienden por completo, lo que hace que la construcción de nanodispositivos no sean fiables u óptimos. Un ejemplo de ello es la comunicación entre el nanotubo y el macromundo, como son los sistemas microelectromecánicos **MEMS** y los sistemas nanomecánicos **NEMS**. Los dispositivos mecánicos configurados a partir de materiales ultrapuros y monocristales pueden contener muy pocos defectos cristalográficos o impurezas, ya que pueden fabricarse de materiales como silicio, arseniuro del galio y arseniuro del indio - las piedras angulares de la industria de la electrónica - u otros materiales compatibles. Como resultado, puede fabricarse cualquier componente electrónico auxiliar, como transductores y transistores en la misma pastilla. Un problema de estos dispositivos, que al parecer ya se está superando es que al disminuir la escala, aumentaban las pérdidas de energía sonora en proporción a la razón superficie/volumen que es cada vez mayor. Este resultado implicaba a las superficies en los procesos de pérdida de energía vibratoria de los dispositivos.

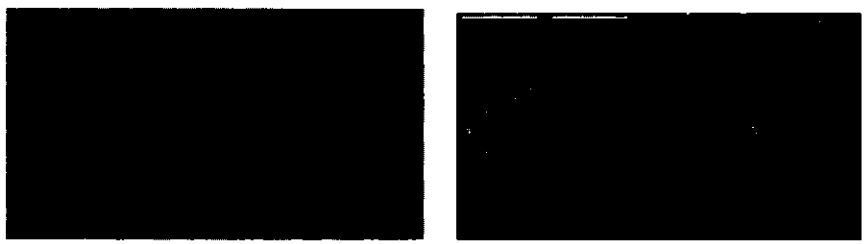


Figura 8. La primera fotografía es la de un micromotor, cuya aplicación está proyectada a sistemas nanomecánicos. En la segunda fotografía se muestra un dispositivo similar a una cadena de bicicleta, pero de tamaño inferior al diámetro del cabello humano, su aplicación es la de disminuir el número de motores que se necesitan para mover los micromecanismos de los MEMS. **Aunque se pretende reducir más su tamaño, igual o menor al de una bacteria o una célula humana. Cortesía Ciencia Digital.**

Prosiguiendo con las aplicaciones de la nanotecnología, hacen su aparición la *nanoelectrónica y la moletrónica.* Se plantean los nanodiodos, nanotriodos y los nanotransistores moleculares. El rotohexano y el bencenotiol son sistemas moleculares que van acoplados a matrices filares conectados a través de nanofilamentos que actúan como conductores y como componentes, es decir, como un interruptor electromecánico. Estos sistemas a diferencia de los dispositivos utilizados en microelectrónica trabajan con potenciales bajos, en el cual las leyes de la mecánica cuántica deben ser tomadas muy en serio, ya que el flujo de electrones no se comporta de la misma manera que a escala macroscópica. Bajo este principio se pretende mejorar de manera significativa las memorias masivas superando el problema del "efecto paramagnético" **ESP;** que consiste en un fenómeno físico que se produce en el almacenamiento de datos cuando la energía necesaria para la conservación del espín magnético de los átomos que constituyen un bit sea un 0 o un 1 vienen a coincidir con la energía térmica ambiental. Cuando ocurre esto, los bits experimentan cambios morfológicos estructurales en la superficie del disco, haciendo que se presenten inversiones de los ceros y unos con la degradación consiguiente de la información que representan. Actualmente se viene trabajando en el mejoramiento de los discos rígidos por diferentes frentes como son: discos duros rígidos hechos a base de materiales de tierras raras, sistemas magneto-ópticos, almacenamiento de datos holográficos, de medios configurados, medios plásticos, almacenamiento con resolución atómica y almacenamiento de datos con tarjetas perforadas, cuyos tamaños son nanométricos al igual que los métodos utilizados para la impresión de los bits. Estas nuevas técnicas están enfocadas a ofrecer rápidamente rendimientos económicos y poder competir con los discos magnéticos actuales en coste por Gigaocteto o Teraocteto de almacenamiento.

Otra aplicación de la nanotecnología relacionada con la computación es el almacenamiento de datos, donde los controladores de discos, han incorporado capas de sustrato nanométricos, con el fin de aumentar su densidad y así duplicar e inclusive cuadruplicar el almacenamiento. IBM en Zurich, trabaja en la miniaturización del registro de datos (Disco Duro). El sistema de almacenamiento conocido como "Millipede" está basado en un conjunto de 1024 agujas

de **AFM** (Microscopio de Fuerzas Atómicas) en una matriz cuadrada que pueden escribir bits de información de no más de 50nm de diámetro. El mismo conjunto es capaz luego de leer la información e incluso reescribirla. Estableciendo un paralelo de este sistema con el actual basado en la memoria magnética puede guardar alrededor de 2Gbits/cm^2, e incluso puede alcanzar los 12Gbits/cm^2. El "Millipede" puede almacenar entre 35Gbits/cm^2 y 80Gbits/cm^2 si se utiliza una aguja única. Si se llegase a utilizar millones de agujas, se podría lograr un almacenamiento del orden de los Terabytes, algo así como 40 veces lo que está disponible hoy comercialmente, aparte de la alta velocidad que tendría, que sería el doble de un disco actual (más de 15.000rev). Otra ventaja a parte del tamaño es su reducido consumo energético y su alta capacidad de memoria.

Con el *"Proyecto Genoma Humano"* la nanotecnología en conjunto con la biotecnología (nanobiotecnología) ha crecido en su campo de acción, tanto así que se desea utilizar la información obtenida de *genoma humano* para crear una "máquina" de computo orgánico - molecular conocida como ***computación ADN***, en la cual se utilizan fragmentos del código genético para crear iteraciones, donde su método de procesamiento es masivo trabajando en paralelo, haciendo que los cálculos sean mucho más rápidos que un sistema de computación convencional. Esto lo efectuarían las enzimas naturales en conjunto con las secuencias de los ácidos nucleicos (adenina, guanina, citosina y timina).Ya existen técnicas híbridas aplicadas a la medicina como son los Biochips usados en biología molecular, bioinformática, nanocristales semiconductores generadores de puntos cuánticos y en computación cuántica.

Computación cuántica

Se clasifica dentro de los sistemas emergentes no lineales, cuyo procesamiento de información se efectúa por medio de los niveles de energía cuánticos de los átomos. La información se almacena en tres dimensiones y a diferencia de los sistemas de cómputo actuales que trabajan en código binario, o sea dos estados cero o uno, la computación cuántica opera con tres estados conocido

como Qubit, permitiéndole trabajar en paralelo a velocidades cercanas a la de la luz. Hasta ahora la computación cuántica está empezando a surgir, se han alcanzado algunos pequeños logros, lo cual indica que se va por buen camino. No es fácil debido a que se utilizan determinados átomos y las leyes físicas de la mecánica cuántica no son laxas en cuestión de medición y observación del sistema como tal (principio de incertidumbre, principio de superposición, principio de exclusión de Paulí). Si se llega a dominar este nuevo sistema de cómputo es obvio que la barrera con cualquier sistema informático actual o de seguridad a nivel mundial se verá en serios aprietos, debido a que la velocidad y almacenamiento de un computador cuántico es ilimitado prácticamente, haciendo posible entonces que este descifre códigos secretos en pocos minutos de cualquier sistema de defensa, bancario, comercial, industrial o gubernamental.

NANOBIOTECNOLOGÍA

La nanobiotecnología (Nanotecnología + Biotecnología), es la integración de material biológico y no ibiológico, "lab-on-chip", sistemas de dispensación directa de medicamentos, manipulación y detección de moléculas biológicas, detección electrónica de material biológico, microfluidos, control del crecimiento de células en substratos.



Figura 9. La nanobiotecnología promete entre sus investigaciones a futuro, el diseño y creación genética de seres, con cualidades físicas superiores a las de un humano normal (superhombres = homo nanobiotecnológico), virtuosos y por que no sabios, con facultades inimaginables para vivir en entornos adversos diferentes al de la Tierra.

La nanobiotecnología es una ciencia emergente muy poderosa por sus futuras implicaciones sociales, culturales, tecnológicas, religiosas y económicas. En el que países industrializados están en a la vanguardia en la I + D de esta ciencia, tanto así, que una quinta parte de los negocios nanotecnológicos en los Estados Unidos (el 21%), usa nanobiotecnología para desarrollar productos farmacéuticos, sistemas de administración de medicamentos in situ e in vivo y otros productos relacionados con la atención de la salud. La Fundación Nacional de la Ciencia de Estados Unidos predice que el mercado de los productos nanoescalares alcanzará más de un billón de dólares por año para el 2015. Cifra por decir que es baja cuando el número de compañías que trabajan en este campo crece de manera vertiginosa cada año, al igual que el número de patentes. Actualmente mas de 160 compañías están produciendo nanopartículas en polvos, aerosoles y barnices, que están sirviendo como materia prima para la manufactura de anteojos ultralivianos a prueba de ralladuras y con propiedades ópticas de filtrado de radiación UV únicas, pinturas a prueba de grietas, antiestáticas y miméticas[3], bloqueadores de sol transparentes, telas a prueba de manchas a parte de poseer nanopartículas químicas que miden el Ph (sudoración, hormonas) y cambian de color (materiales inteligentes) avisando al portador su estado metabólico, ventanas de automóvil limpiables y adaptables a sistemas de realidad complementada o adaptada, y otros productos más. Se estima que el mercado mundial para las nanopartículas crecerá entre un 13% y un 17% por año, superando los 1000 millones de dólares para el 2005.

A nivel general existen actualmente compañías y corporaciones privadas y gubernamentales en todo el mundo que le han apostado a la Nanobiotecnología y Nanotecnología, centrando sus estudios e inversiones a corto y largo plazo en ellas. Cabe mencionar algunas como son:

Acroos Barriers, Alcor, Cryonics Institute, Celera Genomics, Fenix, Genoscope, Hewlett-Packard, IBM, Inomat, Lucent Technologies, Molecular Nanosystems, Motorola, Nanobreath, Nanogate, NanoPhase Technologies, Nanosys,

[3] Cambio de color según el ángulo con que incida la radiación solar.

Nano-X, Nantero, NASA, NBTC, Nabiotechnology Center, Nec, Nexia Biotechnologies Inc, Pharmacelsus, Samsung, Sanger Center, U.S. Army Soldier Biological Chemical Command (SBCCOM), U.S. Defense Advanced Research Projects Agency, Quantum Dot, Zyvex, Carbon Nanotechnologies, NanoThinc, Mitre Corporation, Molecular Electronics Corporation, L'Oréal, Gilead Sciences, Cisco Systems, Hitachi, Mitsubishi, 3M, Nanomatrix, Inframat.

En otros campos la nanobiotecnología va a tener fuertes impactos en la alimentación y la agricultura, tal como la biotecnología en sus inicios, y es de ser así, ya no se están modificando las moléculas de las células sino átomos, ya las moléculas no actúan por reacciones químicas naturales sino por reacciones químicas artificiales controladas. Su radio de acción crece cada día al igual que la nanotecnología, donde los ensambladores y autoensambladores juegan un papel fundamental en esta tarea de fusionar lo vivo con lo no vivo. Por citar algunos ejemplos tenemos: plásticos auto limpiables con enzimas incorporadas, diseñadas para atacar la suciedad al entrar en contacto con ésta, se plantea el uso a gran escala de nanotubos aplicados a la ingeniería aeronáutica (fuselajes más livianos y resistentes, materiales absorbentes a la radiación electromagnética proveniente de radares y materiales ablasivos entre otros), motores moleculares para aplicación médica y farmacológica, obtención de productos plásticos por medio de modificación genética de bacterias, bioelectrónica, optimización del trabajo efectuado por nuestros órganos y tejidos por medio de nanomecanismos como los respirocitos (glóbulos rojos artificiales capaces de transportar más de 236 veces oxígeno hacia los tejidos que los glóbulos rojos naturales), el cual cuenta con un nanoprocesador integrado, que puede ser reprogramado a control remoto mediante señales acústicas externas; los vasculocitos, microrobots moleculares que limpiarían las arterias afectadas por arteriosclerosis.

Nanobioingeniería y aplicaciones biomédicas (Nanomedicina)

Un amplio campo de investigación utilizando los recursos y técnicas utilizadas en la nanociencia se abre en al campo de las ciencias biomédicas. Las barreras que delimitan las ciencias tradicionales aparecen cada vez más

difusas en esta área. Se destacan varias líneas de potencial desarrollo en esta área.

Construcción de materiales a nivel nanométrico mediante Ingeniería de Proteínas.

Las proteínas son las encargadas de llevar a cabo los distintos trabajos que las células necesitan para cumplir su función dentro del organismo. Es responsabilidad de las proteínas degradar de manera gradual una molécula que se utiliza como alimento, lo mismo que lo es la síntesis de todos los materiales que forman la célula. En algunos casos las funciones de las proteínas van más allá de propiciar una reacción química en un compuesto químico: son las encargadas de captar la luz para que se produzca un impulso eléctrico que traduzca la imagen de un objeto en el cerebro o bien que sea conservada como una forma de energía. Las hay en forma de filamentos resistentes para llevar a cabo un trabajo mecánico o bien forman mecanismos mecánicos capaces de realizar un trabajo.

Mediante las técnicas de Biología Molecular se pueden cambiar algunos elementos de las proteínas, producir mutaciones específicas, que alteran las propiedades de estas proteínas. Cuando esos cambios se llevan a cabo desde el conocimiento de su estructura se puede transformar la proteína de manera racional para llegar a diseñar un dispositivo que tenga una determinada utilidad para el hombre. Los cambios que se pueden llevar a cabo sobre una proteína pueden consistir en cambiarle su capacidad para reconocer un determinado compuesto para que actúe sobre otro diferente que tenga interés industrial. También se pueden inmovilizar sobre superficies no biológicas como pueden ser electrodos con los que intercambien electrones o partículas magnéticas de manera que la acción de la proteína se pueda dirigir aplicando campos magnéticos sobre ellas. O bien se puede conseguir fijar sobre un soporte una proteína que produce un giro sobre sí misma de manera que se obtenga un auténtico motor giratorio. La lista de aplicaciones sólo está limitada por la imaginación porque en la naturaleza se encuentran proteínas en número tan elevado y con funciones tan diversas que su utilidad y aplicación es tanto médica como

industrial. El panorama de las aplicaciones de las proteínas modificadas se amplía de manera extraordinaria cuando se combina con la fabricación de nuevos materiales que permitan la construcción de dispositivos nanométricos. Ello implica que se trabaje con dispositivos que contienen moléculas individuales de proteínas.

Por lo tanto, el objetivo de las investigaciones está dirigido al conocimiento de los mecanismos de actividad, la modificación de su capacidad de reconocimiento por parte de sus sustratos (cambio de especificidad) y su acoplamiento a superficies metálicas de electrodos de forma que se produzca intercambio de electrones entre ambos. Para ello se emplean métodos aplicados en la ingeniería genética como son la clonación de las proteínas en cuestión, determinación de sus estructuras cristalinas, y su modificación química.

Aplicaciones biomédicas

Las posibles aplicaciones de la Nanotecnología en el campo de la Medicina son muy diversas y por tanto pueden implicar a casi todas las especialidades biomédicas.

Ante tal dispersión de posibles aplicaciones e intereses, parece sensato establecer unos vínculos de trabajo a dos diferentes niveles: Uno, a nivel de las ramas médicas básicas (fisiología, bioquímica, inmunología, farmacología), y otro, a nivel de las ramas médicas aplicadas (especialidades médicas y quirúrgicas). Los especialistas médicos de las ramas básicas podrán participar directamente en el desarrollo de la Nanobiotecnología y sobre todo actuar como interlocutores o intermediarios de posibles objetivos o aplicaciones entre los físicos, químicos e ingenieros y los clínicos o cirujanos. Las líneas en las que pueden verse más implicados son las de la síntesis de nanoestructuras orgánicas o inorgánicas (nanorobots), la biología molecular, la terapia génica, la vehiculización de fármacos y en el diseño de nuevos fármacos, marcadores o medios de contraste, ingeniería de precisión, optoelectrónica, electromecánica y desarrollo de sistemas electrobiológicos.

Sensores y actuadores inteligentes para aplicaciones industriales y biomédicas.

Los materiales "inteligentes" son aquéllos que convierten energía eléctrica, magnética o térmica en energía mecánica, o viceversa, siendo por tanto muy interesantes para la realización de microactuadores o sensores, en los que es fundamental que, no sólo las dimensiones, sino también el número de componentes que intervienen en el dispositivo sea el mínimo posible. Los fenómenos físicos asociados a los citados materiales son, respectivamente, la piezoelectricidad, la magnetostricción y el efecto de memoria de forma. La utilización en la tecnología de microsistemas, de aplicación industrial o biomédica, de materiales "inteligentes" preparados en forma de películas delgadas es uno de los campos de aplicación de las investigaciones sobre materiales preparados en forma de películas delgadas y multicapas, concretamente materiales magneto-estrictivos.

Los procesos de fabricación de películas delgadas en pulverización catódica son fácilmente trasladables al entorno empresarial y permiten obtener una variedad de materiales artificiales con control nanométrico. Esta tecnología se integra en dimensiones milimétricas de forma sencilla, es compatible con las tecnologías de microsistemas, evita procesos de ensamblaje complejos y permite la producción de nuevos materiales nanoestructurados, como las multicapas, que presentan propiedades mejoradas respecto de los materiales masivos constituyentes. Las pequeñas dimensiones y la facilidad de integración de estos microactuadores y microsensores "inteligentes" los hacen atractivos para numerosas aplicaciones.

La combinación de mecánica y electrónica en estos microdispositivos (**MEMS**: "Micro Electro Mechanical Systems") está originando una tecnología en la que microactuadores, microsensores y dispositivos de control, desarrollados para ser guiados, navegar, controlar movimientos y detectar flujo de fluidos con alta resolución, pueden proporcionar información muy detallada de procesos y fenómenos que ocurren a muy pequeña escala. Estas micromáquinas "inteligentes" tienen características y precisión imposibles de alcanzar con otro tipo de sistemas.

Se está produciendo un cambio a una escala inferior son los llamados **NEMS** ("Nano Electro Mechanical Devices"). En este campo la nanociencia tendrá mucho que decir.

Las aplicaciones de estos dispositivos en sistemas biológicos ("**BIOMEMS**") son también muy prometedoras (microcontroladores de flujo para dosificación optimizada de fármacos, microinstrumental quirúrgico para cirugía mínimamente invasiva, ingeniería del ADN, etc.

Técnicas médicas de diagnóstico y terapéuticas utilizando ferrofluidos

Los ferrofluidos o magnetofluidos son suspensiones coloidales de partículas magnéticas nanométricas de gran interés para aplicaciones industriales en mecanismos altamente sofisticados. Se destaca su aplicación en cierres de alto vacío, altavoces de alta calidad, cierres herméticos en brazos robóticos en "cámaras limpias", amortiguadores inerciales en lectores ópticos, etc. En general estos ferrofluidos utilizan solventes orgánicos como queroseno. En la actualidad existe una gran demanda de ferrofluidos para aplicaciones de tipo médico y biológico, ello supone que las partículas magnéticas han de ser emulsionadas en líquidos biocompatibles y que no produzcan toxicidad en los organismos vivos. Una de las formas más efectivas para lograr esto es el encapsulamiento de las partículas en materiales biocompatibles.

El reciente avance en las investigaciones en fullerenos ha llevado a obtener nanotubos y otras estructuras grafíticas que permiten encapsular nanopartículas magnéticas para la posterior preparación de bioferrofluidos por su simple disolución en agua. El número de aplicaciones biomédicas de estos materiales está incrementando considerablemente, en las que cabe destacar:

- Incremento del contraste de tejidos en técnicas de análisis de resonancia magnética nuclear.
- Suministro de fármacos a lugares específicos del cuerpo.
- Localización de tumores y su destrucción mediante aplicación de campos electromagnéticos de radiofrecuencia.

- Separación celular.
- Actuadores y dispositivos (posibilidad de actuar externamente mediante la acción de un campo magnético).
- Evitar disfunciones de los órganos (esfínteres artificiales para evitar la incontinencia urinaria).

Todas estas aplicaciones están condicionadas al desarrollo de bioferrofluidos de mayores prestaciones en cuanto al producto energético magnético, tamaño de partícula y tipo de encapsulamiento.

Otras líneas

Se enuncian a continuación algunas líneas de investigación que también son objetivos en el área de Nanociencia:

Motores Moleculares:
- Nanomáquinas impulsadas por ATPasa como Motor Rotatorio.
- Nanomáquinas impulsadas con Motores Moleculares Lineales.
- Dinámica Intracelular: Quimiotaxia (en espermatozoides, es el mecanismo celular que trata básicamente del movimiento direccional de dicha célula sexual) y Migración celular.
- Desarrollo de Dispositivos de Nanofabricación basado en microtubulación.

Microanálisis de Biomoléculas:
- Microfabricación rápida de mezcla de fluido para proteínas en experimentos de plegaduras.
- Nanofabricación de series para sondear funciones celulares a nivel nanoescalar.
- Sensores para neurotransmisores y detectores.
- Nanotecnología para predicción de eficacia y toxicidad en drogas.
- Propiedades de fabricación de materiales biodegradables.
- Electroquímica y electrónica integrada para el uso como dispositivo biosensor paralelo.

Superficies Bioselectivas:

- Crecimiento de células nerviosas por medio de micromodelado de sustratos.
- Reconstrucción de la barrera hematoencefálica.
- Crecimiento y desarrollo de superficies biointeractivas.
- Reacciones celulares topográficas y Bioquímicas.
- Micromodelado de superficies sinápticas sintéticas.
- Desarrollo de biosensores celulares.
- Nanobiohíbridos: nuevos genes y sistemas de entrega de droga.

Aislamiento Celular:

- Aislamiento y caracterización de la estructura celular y sus funciones inmunológicas.
- Análisis subcelular de la distribución molecular y comportamiento de las células en un sistema ordenado.
- Aislamiento y caracterización de células fetales y células cancerígenas.

Filtración Molecular:

- Modelado de sistemas de cribado molecular Polimérico.
- Tubos poliméricos para separación molecular.
- Membranas semipermeables y diálisis de equilibrio.
- Investigación de las propiedades de filtración de colágeno en silicio.
- Nanoestructuras para accesibilidad de transporte enzimático.
- Purificación de proteínas de alta definición que usan bloques de copolimero derivado de materiales de tipo silicio.
- Separación multidimensional microescalar de fluidos proteicos cerebroespinales.

Plantillas Moleculares:

- Arquitecturas poliméricas nanoescalares para procesos biológicos.
- Funcionalización de modelos superficiales de plantillas moleculares.
- Funcionalización directa de series de modelos vía polimerización superficial.
- Dinámica nanoestructurada espacio-temporal para señalización de inmunoreceptores.

- Diseño microescalar estructurado de sistemas poliméricos.
- Desarrollo de modelos para señalización celular.
- Ensamblaje nanoestructurado biológico.

Existen otras proyecciones de aplicación de la nanotecnología como son: en la investigación espacial, comunicaciones, biomedicina, control de procesos industriales, cristalografía, biotecnología, química supramolecular, ingeniería de proteínas, detectores biomoleculares o biosensores, detección personalizada de ADN o su modificación, angiogénesis (técnica que permite implantar en el corazón infartado a través de micromáquinas llamadas angiochips[4], nanoneurología[5], nanoenfermeros (eliminarían la cirugía, serían rastreadores y destructores de virus y células cancerígenas, al igual que eliminarían los efectos de envejecimiento celular), materiales nanoestructurados resistentes y duraderos no destructivos ni dañinos para el medio ambiente.

Investigaciones varias relacionadas con lo expuesto anteriormente cabe mencionar:

- Materiales Magnéticos Moleculares: Desarrollo de la ingeniería molecular encaminada a obtener imanes de alta temperatura de orden.
- Sistemas mesoscópicos magnéticos: Estudio y desarrollo de nuevos sistemas para la observación de los fenómenos de túnel magnético de la imanación. Evolución hacia el desarrollo de la computación cuántica.
- Transporte electrónico de biosistemas: Dinámica de los electrones e iones en sistemas biológicos, comprensión teórica de estos procesos.
- Estructura, propiedades mecánicas y tribológicas de recubrimientos para aplicaciones en la industria.
- Recubrimientos nanoestructurados (multicapas y nanocompuestos).
- Propiedades superficiales y de interfase de nanomateriales.

---

4 Nuevos vasos sanguíneos para reemplazar a los destruidos.

5 Formulado por el autor, en el cual se plantea el uso de ensambladores y autoensambladores en la corteza cerebral dañada, donde se espera regenerar y potenciar las funciones perdidas de ésta.

- Aspectos de ingeniería de superficie para aplicaciones en microelectrónica.
- Deposición de recubrimientos multicapa y de composición graduada.
- Síntesis y caracterización de materiales superduros.
- Recubrimientos duros para tecnología de medios magnéticos.
- Recubrimientos nitruros-carburos-óxidos-boruros.
- Películas sólidas lubricantes.
- Recubrimientos resistentes a la corrosión y oxidación en medios severos.
- Caracterización de recubrimientos incluyendo métodos no destructivos in-situ.
- Experimentos de nanoindentación y su modelado.
- Propiedades de interfase y su modelado.
- Modelamiento atomístico y continuo de propiedades y desempeño.
- Tecnologías de ingeniería de superficies para aplicaciones dirigidas: automóviles, biomédica, ambiental, etc.

A escala industrial referente a los a medicamentos se pretende por medio de la nanotecnología, la construcción átomo a átomo de moléculas complejas que hacen las funciones primordiales de la vida (por ejemplo la insulina). El logro de este objetivo será un avance para la medicina, puesto que simplificaría los procesos que se requieren para obtener las complejas drogas que componen hoy los medicamentos y pondría al alcance de la ciencia una enorme cantidad de proyectos hoy imposibles.

Otras investigaciones que se hayan actualmente en desarrollo en diferentes áreas de la ciencia son: Estructuras nanoescalares poliméricas, síntesis de materiales catalíticos nanoestructurados, aplicación del STM a la caracterización de estados de superficie, estudio de las propiedades electrónicas de superconductores con el STM, estudio de la estructura de membranas biológicas con AFM, fabricación de nanoestructuras magnéticas sobre aislantes, medición de magneto-estricción con un AFM, estudio de la estructura de capas delgadas de líquidos sobre superficies con AFM, materiales magnéticos grabables de alta densidad, cinética de oxidación local en Si con AFM, nanohilos magnéticos, efecto de la dispersión electrónica en las fronteras de grano en materiales

nanoestructurados, biocompatibilidad del colágeno en películas de LBL estratificadas con nanopartículas semiconductoras, predicciones de nuevos estados cristalinos para ensamble de nanopartículas (Perovskitas y series en 3-D de nanohilos en congregaciones microscópicas), nanotubos de carbono como estructura nanoescalar de dispositivos cuánticos, encadenamiento y agregados de estructuras de películas Poly (p-phenylene Vinylene), predicciones en el comportamiento de agujeros en nanocristales, sensores electroquímicos nanoestructurados basado en películas de nanopartículas de oro densa, efectos del O_2 como absorbente y propiedades de emisión de campo del carbono, estudio de la teoría funcional sobre las densidades de los nanotubos, organización jerárquica de series de nanohilos para nanosistemas integrados, nanopartículas de vancomicina y sus actividades antimicrobiales, emisión óptica de polímeros conjugados adsorbentes de alúmina por medio de nanoporos, conjugación nanoestructurada de materiales por litografía controlada por reactividades químicas generalizas en superficies (nanotubos de carbono, dependencia de temperatura y morfologías de óxido de silicón, catálisis y ensamble de nanohilos de galio fundido), síntesis monodispersa de nanopartículas de paladium, deposición de capa atómica de nitruro de tungsteno, propiedades mecánicas de nanorizos de carbono, microanillos orgánicos opticamente activos, orientación cristalográfica de crecimiento de nanobarras en catalizadores de estaño, diseño de arquitecturas nanoestructuradas tridimensionales (Catalizador carbono-sílice y compuesto modificado de aerogeles).

Repercusiones de las investigaciones en aplicaciones industriales y biomédicas

Los resultados derivados de las líneas de investigación descritas anteriormente tendrían incidencia en diversos campos tecnológicos en los que la miniaturización y las propiedades específicas de materiales nanoestructurados desempeñan un papel relevante. La mayoría de ellos se enmarcan en lo que se consideran "nuevas tecnologías", o "tecnologías emergentes" tanto de la información y las comunicaciones, como industriales o biomédicas.

Por ejemplo, en lo concerniente a la detección, diagnóstico y terapéutica de enfermedades, al igual que reparación de daños causados por enfermedades de tipo cancerígeno o neurodegenerativas, envejecimiento y accidentes. Se pretende emplear estructuras nanométricas, con materiales inorgánicos o nanopartículas las cuales liberarían el fármaco en el sitio indicado. Se plantean varias técnicas en pruebas *nanobiomédicas* como son etiquetas nanomagnéticas, repisas inteligentes revestidas con ADN, nanopartículas de oro ornadas con segmentos cortos de ADN, código de barras nanométricos; que son perlas de látex con los colores de unos semiconductores nanométricos conocidos como puntos cuánticos.

La NASA tiene un ambicioso programa, con miras de solucionar el problema de los daños ocasionados por la radiación del espacio en las células de los cuerpos de los astronautas, en particular su ADN el cual degenera en tumores o cáncer. La idea consiste en diseñar nanopartículas o nanocápsulas que se inyectarían directamente a la corriente sanguínea de las personas, de tal manera que estas identificaran las células dañadas por la radiación por medio de los marcadores, que son una clase particular de proteína llamada CD-95, las cuales se ubican en la parte externa de la membrana celular, luego de estar identificada, las nanocápsulas iniciarían la reparación de las células de forma individual o en su defecto, deshacerse de aquellas células que son propensas a mutar o que están muy dañadas.

Al implementar el uso de las nanopartículas, se evitará el uso de técnicas como la quimioterapia o radioterapia, las cuales como es sabido dejan como efecto secundario la muerte de células sanas, lo cual va en detrimento de la salud del paciente en la mayoría de casos según las dosis suministradas.

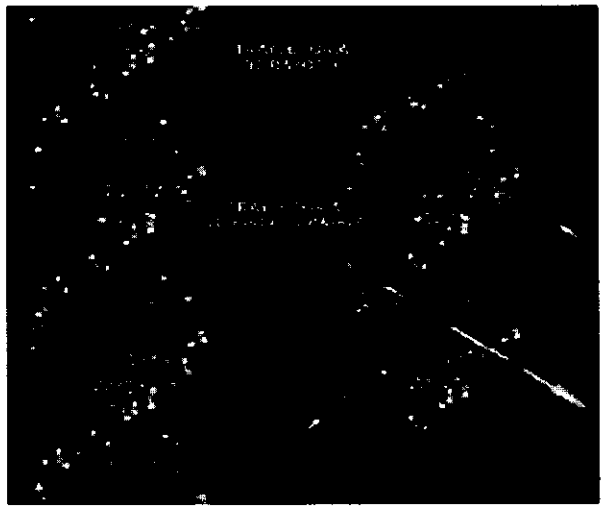


Figura 10. La radiación cósmica de alta energía produce daños en el ADN y hace que las células se comporten erráticamente, declinando con el tiempo en mutaciones y posteriormente en enfermedades cancerígenas o tumorales. Cortesía de NASA/OBPR.

Otro método que se está investigando en medicina usando la nanobiotecnología son las enzimas. Cada una de ellas es una factoría química completa reducida a una escala nanométrica. Estas enzimas han evolucionado durante miles de millones de años para lograr una fabricación ideal de productos químicos. Estas nanomáquinas moleculares son quienes hacen que la vida funcione. Estas investigaciones traen tras de si implicaciones evolutivas sin precedentes, es decir, manipular las factorías químicas de la vida involucra cambios en las estructuras atómicas y moleculares de las células, y por ende, de las formas de vida macroscópicas. Se espera que mediante la manipulación a nanoescala de materiales biológicos sea posible:

- Producir ADN sintético a partir de esquemas de organización copiados de organismos naturales.

- Utilizar este ADN sintético para crear organismos vivos "únicos".
- Construir nuevos aminoácidos artificiales que puedan transformarse en proteínas nuevas.
- "Diseñar" el código del ADN de la misma forma en que los programadores diseñan software
- Utilizar el ADN para construir nanomáquinas capaces de autoensamblarse exponencialmente
- Diseñar nanomáquinas con capacidad de autoensamblaje exponencial que puedan convertirse o funcionar en procesos de manufactura como motores, pistones, pinzas, etcétera.

Es innegable que el desarrollo de este tipo de tecnología requiere una investigación de base altamente especializada, ya que para lograr en la actualidad avances significativos es preciso obtener nuevos materiales, o estructuras formadas con ellos, con propiedades y características cada vez más complejas, exigiendo cada vez más a los dispositivos, tanto en sus dimensiones (reducción de su tamaño), como en las condiciones de trabajo de los mismos (mayor rendimiento).

CONCLUSIÓN

La Nanobiotecnología empieza a generar críticas y acaloradas polémicas a nivel moral, ético, bioético y político, y en cierta medida a nivel filosófico, cultural, económico, social y religioso. Lo cual plantea una serie de interrogantes como son:

- ¿Cómo controlar algo que no se puede ver a simple vista?
- ¿Cómo restringir su uso?
- ¿Quién controla o controlaría a las compañías que trabajan en nanotecnología o nanobiotecnología con fines industriales enfocados al medio ambiente, humano o bélico?
- ¿Qué control se tomaría si la nanobiotecnología es usada como arma, o en el peor de los casos usada en terrorismo (nanoterrorismo)?

- ¿Cuáles son los límites de la nanobiotecnología? Si es que los tiene.
- ¿Habrá una nueva evolución de la vida y por ende una nueva evolución acelerada del hombre?
- ¿Qué comportamiento tendrán los nuevos entes biológicos creados artificialmente con respecto a su entorno?
- ¿Qué pasará con el orden global cuando los ensambladores y la ingeniería automatizada eliminen la necesidad del intercambio comercial?
- ¿Cómo cambiará la sociedad cuando los individuos puedan vivir indefinidamente? Ya sea por criopreservación o por la nanotecnología aplicada.
- ¿Qué haremos cuando los ensambladores no necesiten de la intervención o del trabajo humano?
- ¿Cómo el hombre podrá aprovechar la tecnología para mejorar la productividad, el ambiente, la salud y su felicidad a la vez?
- ¿Hasta que punto nosotros podremos estar en control, o los robots necesitarán de nosotros?
- ¿Quién tomará decisiones: las máquinas naturales o el hombre?
- ¿Cómo y de qué se alimentarán los nanorobots?
- ¿Qué fuente de energía van a utilizar los nanorobots para su funcionamiento? y ¿Cómo disipar el calor producido por tal número de operaciones?

Dar una respuesta a estas y muchas otras preguntas, sería irresponsable de mi parte, sólo el tiempo lo dirá, lo que si puedo afirmar es que la nanobiotecnología cambiará nuestras vidas y nuestro planeta, y está aquí para quedarse. Lo que no implica que debamos quedarnos de brazos cruzados a esperar que pueda suceder, por el contrario, se hace imprescindible que se tomen cartas sobre el asunto y se analice a fondo las implicaciones a futuro de la nanobiotecnología y nanotecnología en todos sus aspectos, ya que aun estamos a tiempo de hacerlo.

Los "productos nanotecnológicos" tienen riesgos evidentes, unos más inmediatos, su toxicidad intrínseca, y otros a un plazo más largo ("la plaga gris"). Las células de los seres vivos no los detectan como materia extraña y no desarrollan anticuerpos contra ellos, algunos materiales pueden penetrar fácilmente

en ellas, incluso en las células nerviosas (nanoesferas, ferrofluidos, puntos cuánticos), y acumularse en determinadas zonas, los efectos desastrosos que pueden tener directamente o si se asocian con algún patógeno o tóxico son evidentes. Existe otro riesgo a largo plazo como es el control y clasificación de humanos mediante nanosensores y nanochips, ya sea ejerciendo el control sobre la naturaleza en conjunto, dando a la ingeniería genética herramientas de precisión.

Las visiones pueden ser perturbadoras y en cierta medida apocalíptica a los nuevos avances que se vislumbran con la nanotecnología y la nanobiotecnología. Falta aún mucho tiempo para su desarrollo a gran escala, pero creo que al igual que se está haciendo con el mapa del genoma humano, es necesario plantear leyes internacionales o moratorias de ser preciso, que permitan controlar a las compañías y gobiernos que utilizan técnicas nanoescalares para crear productos sean cuales sean para evitar su mal empleo.

"UN PROBLEMA BIOÉTICO DE GRANDES PROPORCIONES"

Se plantea a un futuro no muy lejano sistemas nanoscópicos que permitan ensamblar o autoensamblar estructuras usando como materia prima elementos del entorno (materiales inteligentes, materiales ensamblantes y autoensamblantes). La naturaleza muestra ejemplos claros de autoensambladores como son las gotas de lluvia sobre una hoja de árbol (autoensamblaje termodinámico), un embrión es un ejemplo de autoensamblaje codificado, al igual que las proteínas y las redes neuronales naturales. Es claro que si la comunidad científica logra comprender estos procesos naturales usando la Biotecnología y la Nanotecnología (***NANOBIOTECNOLOGÍA***) se podrá crear y modificar el entorno al antojo, por lo cual será un paso decisivo en la evolución no solo de la especie humana sino de todos los seres que pueblan el planeta Tierra. Tanto así que el concepto de muerte quedará entre dicho, preservación de tejido e individuos ad infinitum "Criogenía". La vejes será un sueño, "el hombre empezará a jugar a ser Dios".

La Nanotecnología, la Biotecnología y la Nanobiotecnología son herramientas poderosas en el mundo de la ciencia y la tecnología, llevadas dentro del marco bioético aportaran grandes beneficios para la humanidad en todos los ámbitos científico y tecnológico. A la vez, de manera tácita formulará nuevos paradigmas concernientes a la forma de definir y ver la vida enmarcada en el contexto cultural, social, religioso y económico.

"El concepto que tenemos de vida y muerte como la conocemos ahora no volverá a ser el mismo, cuando la Nanobiotecnología evolucione y no sepamos diferenciarlos".

"La Vida se torna Difusa, con características complejas, no lineales, emergentes y caóticas".

Corresponde a la comunidad científica, universidades y estamentos gubernamentales de todo el mundo la responsabilidad de velar por el buen uso que se de a la nanobiotecnología, de tal manera que la investigación y desarrollo de la misma sea en beneficio de la humanidad. Por lo expuesto anteriormente, se evidencia que la nanotecnología ha empezado a generar una ola de cambios en nuestro entorno, de una escala atómica y molecular hasta escalas mesoscópicas y macroscópicas, el futuro será muy diferente al que conocemos hoy manipulando la materia para crear lo que se desee con un gasto mínimo de energía. Estamos en una etapa temporal interesante, podría afirmar que en cierta medida somos favorecidos por que estamos en un momento histórico sin precedentes, donde podemos determinar cual va hacer el destino de la vida en el planeta Tierra, llevar la ciencia y la tecnología a nuevos peldaños de desarrollo en el cual toda la humanidad se beneficie, o por el contrario, enmarcarlo en un sistema decadente en el que unos pocos se beneficien y terminen por hacerla colapsar.

Hace algunos años se pensó que la historia del medioambiente en clave entrópica subrayaba la depauperación de los recursos naturales y por lo tanto, traía consigo una pérdida de complejidad, una reducción de la diversidad natural o una "unificación biológica" que es irreversible. Es posible que esto sea

cierto pero con el advenimiento de la nanobiotecnología nosotros debemos esforzarnos por salvar hasta la última, e insignificante de las especies animales y vegetales, puesto que puede convertirse en una pieza clave para el equilibrio de un ecosistema o en la clave para encontrar nuevos fármacos contra muchas de las enfermedades que aun no tienen cura. Debemos tener claro que la biodiversidad no es una broma ni una moda, es un seguro de vida para nuestro planeta y para nosotros mismos.

Por último, está en nuestras manos mirar que legado dejaremos a las futuras generaciones, a nuestros hijos: Es una responsabilidad muy seria el analizar más a fondo las futuras implicaciones de la Nanobiotecnología en la vida.

De nuevo enfatizo, que es indispensable trazar unas directrices internacionales enmarcadas en el contexto bioético, ampliando sus fronteras, teniendo como referente que la vida al pasar de ser natural a "artificial" buscará ella misma emerger como un sistema complejo, no lineal y evolutivo autónomo, bifurcándose, emulando a la propia naturaleza. Pensar que nosotros tendremos el control absoluto de la materia y por ende de la naturaleza a esta escala por siempre, es bastante iluso.

Es necesario realizar un estudio más a fondo sobre las implicaciones de la I + D en nanobiotecnología tendientes a beneficiar la vida en todas sus formas. Que los nuevos sistemas u organismos vivos producto de esta ciencia sean o no autosostenidos, no impliquen a futuro mutaciones y transformaciones que conlleven a catástrofes biológicas sin precedentes.

"Tenemos la vida del planeta Tierra en nuestras manos y solo depende de nosotros poder vivir en armonía con los demás seres que la habitan, al fin y al cabo todos heredamos el mismo edén".

BIBLIOGRAFÍA

- MULHALL Douglas. *Our Molecular Future: How Nanotechnology, Robotics, Genetics, and Artificial Intelligence Will Transform Our World.* Prometheus Books, Amherst, New York, Hard Cover, 392 pages, 2002.

- NEWTON E. David. *Recent Advances and Issues in Molecular Nanotechnology.* Greenwood Publishing Group, Hard Cover, 306 pages, 2002.

- CAMERON David, "Walking small", en el sitio web de Technology Review (www.techreview.com), 1° de marzo de 2002.

- EZZELL Carol. *La Proteómica en el Horizonte.* Investigación y ciencia. Junio 2002. Número 309. Pág. 46 – 53.

- National Nanotechnology Initiative (www/nano.gov/2002budget.html) el 5 de marzo de 2002.

- CHOI, Charles, "Liquid coated fluids for smart drugs, food", en United Press International (www.upi.com), Nueva York, 28 de febrero del 2002.

- TINKER Natan, 2001 Business of Nanotech Survey, en NanoBusiness Alliance, octubre de 2001, p. 4.

- ROUKES Michael. *Nanoelectromechanical systems face the future.* Physicsweb. February 2001.

- *Nanotechnology the new engineering.* Scientific American. November 2001. Number 302.

- FREITAS Robert A. *How nanorobots can Avoid Phagocytosis By White Cells, part* I. *Zyvex Corp in conjunction with Foresight Update 45. IMM Report Number 27: Nanomedicine. 2001.*

- KONTZER, Tony, "Get the bugs in"(www.informationweek.com), 3 de diciembre de 2001. Informationweek.com es parte de la TechWeb Bussiness Technology Network.

- GRAHAM-Rowe, Duncan, "Lord of the Dance", en New Scientist, 26 de mayo de 2001, páginas 22-23.

- TINKER Natan, 2001 Business of Nanotech Survey, en NanoBusiness Alliance, octubre de 2001, p. 6.

- SMALLEY, Richard E., "Of Chemistry, love and nanorobots", en Scientific American, septiembre de 2001, p. 76.

- SMALLEY, Richard E., "Of chemistry, love and nanorobots", en Scientific American, septiembre de 2001, p. 77.

- REED A. Mark. Tour M. James. *Computación molecular. Investigación y ciencia*. Agosto 2000. Número 250. Pág. 56– 63.

- MÁRQUEZ Jairo. *Nanoneurología. Nanotecnología Aplicada a las Neurociencias*. Revista INGENIUM. Universidad de San Buenaventura. No 1. Bogotá. Año 2000. pág 56 – 59.

- TOIGO Jon Willim. *La Crísis de las Memorias Masivas*. Scientific American. Julio de 2000.

- CHEMLA Y.R. Grossmann H.L poon Y. Mc Dermott R.Stevens R. Alper M.D. and Clarke J. *Ultrasensitive magnetic biosensor for homogeneous inmunoassay. Proceeding of the national academic of sciences*.USA Vol.97. Number 27. 19 December 2000.

- TOIGO JON Willim. *La Crísis de las Memorias Masivas*. Scientific American. Julio de 2000.

- RIGOUTSOS, I., A. Floratos, L. Parida, Y. Gao and D. Platt, "The Emergence of Pattern Discovery Techniques in Computational Biology." *Metabolic Engineering*. 2(3):159-177, July 2000.

- RIGOUTSOS, I., A. Floratos, C. Ouzounis, Y. Gao and L. Parida, "Dictionary Building Via Unsupervised Hierarchical Motif Discovery in the Sequence Space of Natural Proteins." *Journal of Proteins: Structure, Function and Genetics*, 37(2), November 1999.

- RIGOUTSOS, I., Y. Gao, A. Floratos and L. Parida, "Building Dictionaries Of 1D and 3D Motifs by Mining the Unaligned 1D Sequence of 17 Archaeal and Bacterial Genomes." *Proceedings Seventh International Conference on Intelligent Systems for Molecular Biology (ISMB '99)*, pp. 223-233, Heidelberg, Germany. August 1999.

- FLORATOS, A., I. Rigoutsos, L. Parida, G. Stolovitzky and Y. Gao, "Sequence Homology Detection Through Large-Scale Pattern Discovery." *Proceedings 3rd Annual ACM International Conference on Computational Molecular Biology (RECOMB '99)*, Lyon, France. March 1999.

- FREITAS A.Robert. ***Nanomedicine, Volume I: Basic Capabilities***.Vii + 509 pp, 200+ illustrations, 3728 references. Landes Bioscience: Georgetown, TX. 1999).

- HALPERIN L. James and Book Del Rey. *The First Immortal*. Published by The Ballantine Publishing Group, New York. 1998.

- ADLEMAN M. Leonard. *Computación con ADN*. La manipulación de AND orientada a la resolución de problemas matemáticos obliga a redefinir el término "computación". Investigación y Ciencia. Octubre 1998. Número 265. Pág. 20 – 28.

- GERSHENFELD Neil. Chuang L. Isaac. *Computación cuántica con moléculas*. Investigación y Ciencia. Agosto 1998. Número 263. Pág. 44 – 49.

- CRANDALL. *Nanotechnology: Molecular Speculations on Global Abundance*. Edited by BC Crandall. The MIT Press: Cambridge, Massachusetts; London, England. 1996.

- KRUMMENACKER Markus and Lewis James. ***Prospects in Nanotechnology: Toward Molecular Manufacturing***. Edited by Markus Krummenacker and James Lewis, XVIII + 297 pages. Includes bibliographic references and index. John Wiley & Sons, Inc.: New York, Chichester, Brisbane, Toronto, and Singapore. 1995).

- DREXLER K. Eric. ***Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation***.John Wiley & Sons, Inc.: New York, Chichester, Brisbane, Toronto, and Singapore. 1992).

- CRANDALL and Lewis James. ***Nanotechnology: Research and Perspectives***. Edited by BC Crandall and James Lewis, ix + 381 pages. Includes bibliographic references and index. MIT Press: Cambridge, Massachusetts; London, England. 1992).

- DREXLER Eric. *Engines of creation: the coming era of nanotechnology fourth estate*. 1990.

- DREXLER K. Eric. Nanotecnology. Engines of Creation. Anchor Books/ Doubleday, originally published in 1986.

- R. Gref *et al.*, "Stealth corona-core nanoparticles surface modified by polyethylene glycol (PEG): influences of the corona (PEG chain length and surface density) and of the core composition on phagocytic uptake and plasma protein adsorption," *Colloids Surf. B Biointerfaces* 18(1 October 2000):301-313.

- NSF, http://www.wtec.org/loyola/nano/societalimpact/nanosi.pdf *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*, NSF Report. 2001.

- Aclu, http://www.aclu.org/congress/rightgenetics.html *and July 19, 2000 Letter to The Honorable Edward M. Kennedy Ranking Member Committee on Health, Education, Labor & Pensions,* 428 Dirksen Senate Office BuildingWashington, D.C. 20510 http://www.aclu.org/congress/l071900a.html

- Kenneth Todar, "Evasion of Host Phagocytic Defenses," University of Wisconsin-Madison, see at: http://www.bact.wisc.edu/microtextbook/disease/evadephago.html.

- Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine, Volume I: Basic Capabilities*, Landes Bioscience, Georgetown, TX, 1999. See at: http://www.nanomedicine.com.

- Robert A Freitas Jr. Article on the potential applications of advanced nanotechnology to dental care appeared in the November 2000 issue of the *Journal of the American Dental Association* (JADA). That article is now available from the JADA website (http://www.ada.org/prof/pubs/jada/index.asp). To access the article, click on the link for Archives, and choose the options for the November 2000 issue. In the listing of the issues contents, choose the Nanodentistry article. The article is available as either a HTML web page or an Acrobat PDF file.

- www.campus/9468/nanotec.htm

- www.nanothic.com

- http://www.qubit.org/

- www.invasivespecies.gov.

- http://www.zyvex.com/nanotech/visuals.html

- http://www.imm.org/Parts/Parts3.html

- http://www.albanet.com.mx/articulos/cuantico2.htm
- http://www.aldeaeducativa.com/aldea/Articulo.ASP?which1=1013
- http://www.casanchi.galeon.com/fis/computa0.htm
- http://www.cienciadigital.net/enero2002/noticia_cuantico.html
- http://www.eafit.edu.co/departamentos/cbasicas/investigacion/logico.html
- http://www.htmlweb.net/seguridad/varios/computacion_cuantica.html
- http://www.imasd-tecnologia.com/imasd/ene02/0102ci1.htm
- http://www.qubit.org/
- www.bioinformatica.nl/
- www.celeragenomic.com
- www.bioinformatica.ufsc.br/
- www.vwocampus.net/nvon/bijscholing_biotechnologie/inhoud_dag/bioinformatica.php
- www.cgb.cl/
- www.cmbi.kun.nl/edu/VWO/wat_is_bioinf.shtml
- www.accefyn.org.co/bioinfo/paraborrar3.htm
- http://www.research.ibm.com/resources/news/20000815_quantum.shtml

- www.bioinformatica.ufsc.br/
- www.cgb.cl/
- www.cmbi.kun.nl/edu/VWO/wat_is_bioinf.shtml
- www.accefyn.org.co/bioinfo/paraborrar3.htm
- http://www.inicia.es/de/proteoma/introduccion.htm
- http://www.cns.caltech.edu/~gabriel/educacion/quimica/t2_proteinas.htm
- http://www.inicia.es/de/proteoma/estructuraproteinas.htm
- http://www.biomeds.net/biomedia/d01040501.htm
- http://www.seis.es/inforsalud99/mo3/001sldo29.htm
- http://www.viasalus.com/vs/B2C/cn/enciclopedia/ESP/ency/articl/003003rcv.jsp
- http://www.viasalus.com/vs/B2C/cn/enciclopedia/ESP/presentations/10244.jsp
- http://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/clonembrion.htm