

Desde la filosofía del derecho, una mirada a la nanociencia y a la nanotecnología

Carlos Rodríguez Manzanera*

*"Piensa primero por qué quieres que los estudiantes aprendan el tema y qué quieres que sepan, y el método surgirá más o menos por sentido común."***

RICHARD P. FEYNMAN

Sumario: I.- Introducción. II.- Inversión. III.- Antecedentes Históricos. IV.- La Escala de Estudio y de la Tecnología Diminuta. V.- En la Escala en los Organismos Vivos. VI.- Conceptos Básicos. VII.- Nanociencia y Nanotecnología. VIII.- Inventos. IX.- Más Pequeño que la Microelectrónica es la Nano electrónica. X.- Responsabilidad, Riesgos y Peligros. XI.- Futuro Jurídico. XII. – Fuentes.

Resumen: El siguiente artículo trata de atraer la atención de los abogados sobre la *nanociencia* y la *nanotecnología*, como dos ciencias interdisciplinarias que van a cambiar nuestras vidas, para esto se hace hincapié en la inversión millonaria que las naciones y las transnacionales están llevando a cabo en ellas. A continuación se hace referencia a los antecedentes históricos de estas disciplinas a través de sus afamados investigadores y luego se proporcionan las escalas y los conceptos básicos que faciliten su comprensión. Se aportan algunos de los últimos inventos en este campo y se muestra como estas ciencias han surgido de diversas necesidades, haciendo énfasis en el terreno de la nano-electrónica. Por último, se refiere a sus riesgos y peligros, dando algunas ideas jurídicas sobre su regulación.

* Profesor definitivo de Tiempo Completo por concurso de oposición abierto en el área de la Filosofía del Derecho, en la Universidad Nacional Autónoma de México.

** Feynman, Richard P. *Seis Piezas Fáciles*. Ed. Crítica. Barcelona, España. 1998. p. 21

I. INTRODUCCIÓN

Se ha dicho, y no es muy difícil de constatar, que el derecho siempre llega tarde a la cita pues, en la realidad, la sociedad y su conocimiento práctico van mucho más rápido y se adelantan a la labor jurídica que puedan llevar a cabo los poderes legislativo, ejecutivo y judicial. En las aplicaciones de la genética, la biotecnología, la informática y la electrónica, actualmente se pueden encontrar numerosos ejemplos que corroborarían lo anterior. El hecho de que la creación y la aplicación del derecho se retrasen frente al continuo avance científico y tecnológico, ha sido hasta ahora algo comprensible e incluso justificable. No obstante, mucho ayudaría a evitar esa pérdida de tiempo, si desde las diversas áreas jurídicas se llevara a cabo una labor de prevención y difusión de todo aquello que tendrá una intervención actual o futura en el campo del derecho. Frente a las labores tradicionales que las diferentes disciplinas desempeñan y, en particular, desde la filosofía del derecho, es necesario ahora referirse al tema que los científicos aseguran va a modificar al mundo en la forma en que lo conocemos.

Si hay un par de ciencias interdisciplinarias que van a cambiar nuestras vidas en los próximos años de una manera radical, entonces es necesario tener noticias de ellas. La *nanociencia* y la *nanotecnología* están proporcionando el conocimiento para manipular y controlar los átomos y las moléculas. Estas ciencias no solamente se ocu-

pan de los procesos de miniaturización (métodos *top-down*), de hacer las cosas más pequeñas, sino también de crear y ensamblar estructuras moleculares que no existen en la naturaleza, así como de su amplificación (métodos *bottom-up*).¹ Si todo está formado por átomos y moléculas, incluso nosotros mismos, entonces se podrá *construir desde abajo*, desde lo *invisible* hasta lo *visible* tal como lo hace la naturaleza.

Imaginemos por un momento que es posible aprovechar los átomos y las moléculas de la basura para elaborar los productos habituales que son necesarios para nuestra subsistencia. Por ejemplo, si para fabricar las llantas de los coches se pudiera tomar de los desechos todo lo indispensable, qué pasaría con las compañías y los trabajadores de la industria de los neumáticos. Si en forma similar estos cambios llegaran a todo el sistema de producción, desaparecerían muchos trabajos y aparecerían otros, modificando todas las economías del mundo.

II. INVERSIÓN

La nanociencia y la nanotecnología con un crecimiento vertiginoso se hallan presentes en la mayor parte de las naciones, principalmente en las industrias y en las universidades con la participación de sus gobiernos.

Ciencias en las que los países del mundo habrán invertido un billón de

¹ Mundo Nano. *Del ADN a los Nanomateriales*. Revista Interdisciplinaria En Nanociencia Y Nanotecnología. Vol 1, No 1, Noviembre de 2008. Pág. 35.

dólares² para el año 2015 y en las que se calcula también que el mercado de los productos nanoescalares alcanzará la cifra de mil millones de dólares anuales, son el resultado de la globalización y llevan a pensar en Marx: “Al llegar a una determinada fase de desarrollo, las fuerzas productivas materiales de la sociedad entran en contradicción con las relaciones de producción existentes, o, lo que no es más la expresión jurídica de esto, con las relaciones de propiedad dentro de las cuales se han desenvuelto hasta allí.”³

Si se transforma la actividad económica, entonces se producirán cambios en el derecho. Seguramente serán muchos los beneficios que traerá la nanotecnología como los ha traído la ingeniería electrónica; pero también hay que advertir que actualmente no se invierte lo necesario para evaluar los peligros y medir la toxicidad de los materiales nanotecnológicos: “Pero resulta que ninguna de las empresas ha realizado las pruebas de toxicología”, dijo Alok Dhawan, investigador del Instituto Indio de Investigación Toxicológica, porque no hay ninguna estipulación que los obligue a hacerlo.”⁴

Los materiales nanotecnológicos varían en su comportamiento dependiendo de su tamaño, forma, superficie y composición química, de ahí sus grandes posibilidades pero también el enorme peligro.

Es un campo en el que no hay suficiente información y mucho menos legislación. Día a día se incorporan nuevos artículos elaborados con *nanomateriales*, sin el visto bueno y la aprobación de las autoridades. Muchos de sus efectos sobre la salud y el medio ambiente son desconocidos. Las *nanopartículas* y los *nanomateriales* pueden entrar al cuerpo humano o al de los animales con facilidad, pues, al disiparse en el aire, son susceptibles de ser inhalados, alcanzar al flujo sanguíneo y depositarse en otros órganos, ser ingeridos o entrar en contacto con la piel. Sus riesgos son difíciles de prever y calcular.

Es necesario que los juristas tomen conciencia de los efectos legales que se producirán por el desarrollo de estas ciencias, para promover el marco jurídico en el cual se regulen las actividades de investigación y aplicación, así como los productos que sean el resultado de ellas. No hay legislaciones y lo poco que existe es incipiente, sobre todo si se toma en cuenta que, después de diez años del desarrollo de la nanotecnología, es hasta el 2010 cuando se propone en los Estados Unidos la primera Ley de Seguridad en Nanotecnología, por los senadores Mark Prior y Benjamín Cardin con

² <http://www.nanotecnologica.com/los-paises-y-sus-inversiones-multimillonarias-en-la-nanotecnologia/>

³ Marx, Carlos y Engels F. *Obras Escogidas*. Tomo 1. Prólogo de la Contribución a la Crítica de la Economía Política. Ed. Progreso Moscú. P. 344. Negrillas para resaltar la idea.

⁴ Mundo Nano. *La Seguridad es Ignorada en la Carrera Nanotecnológica*. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotec-

la finalidad de que: "...las medicinas y otros productos y dispositivos médicos, así como los aditivos para la alimentación basados en nanotecnología, sean seguros y efectivos."⁵

Será la Agencia de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en inglés) la que estudie los efectos de los nanomateriales en el cuerpo humano, así como sus mecanismos de acción.

Se puede decir que ni el derecho ni su respectiva ciencia jurídica están preparados para los avances vertiginosos de la nanotecnología y al final de este escrito se hará una referencia a este tema. Por el momento hay que adentrarse en los orígenes del desarrollo de estas ciencias.

III. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Richard P. Feynman⁶ quien fuera Premio Nobel de Física en 1956 es considerado el padre de la nanociencia. Su famosa conferencia en la Universidad Tecnológica de California del 29 de diciembre de 1959: *There's Plenty of Room at the bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics* (*Hay mucho lugar allí en el fondo: una*

invitación a entrar a un nuevo campo de la física).⁷

*Me gustaría describir un campo en el cual poco se ha hecho, pero en el que mucho puede hacerse en principio.... Este campo tendrá un gran número de aplicaciones técnicas. De lo que quiero hablar es del problema de manipular y controlar cosas en una pequeña escala.*⁸

*¿Por qué no podemos escribir los 24 volúmenes completos de la Enciclopedia Británica en la cabeza de un alfiler?*⁹

Él sostendría que si calculamos el número de átomos en la cabeza de un alfiler, habría el suficiente espacio en ella para escribir toda la Enciclopedia Británica y se podrían además hacer todas las copias que se quisieran de su contenido. No hay límites técnicos para la miniaturización pero se trata de algo mejor, "de construir desde abajo". *Hay mucho espacio allá abajo entre los átomos. "Entender en una escala tan pequeña es tan fantástico. Es maravilloso y diferente y nada se comporta como en la gran escala. Los electrones se comportan como otra cosa en pequeño. No se comportan como partículas en esa escala. Tampoco se comportan como una espiral."*¹⁰

⁵ *Mundo Nano. Se Propone La Primera Ley De Seguridad En Nanotecnología. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología. Vol 2, No 2, Julio-Diciembre, 2009. Pág. 12. <http://www.nanolawreport.com/2010/01/articles/the-nanotechnology-safety-act-of-010/#axzz1UTgVoc00>*

⁶ *Mundo Nano. Editorial. Revista Interdisciplinaria En Nanociencia Y Nano- Tecnología. Vol 1, No 1, Noviembre de 2008. Pág. 3. "Hay suficiente espacio en el fondo"*

⁷ *Nanotecnología Aplicada. Pequeña Gran Industria. Revista Muy Interesante. Año XXVIII No 01. Pág. 58-62.*

⁸ <http://www.zyvx.com/nanotech/feynman.html>

⁹ *Nanotecnología Aplicada. Op, cit. p. 59*

¹⁰ Primer Programa de Cuatro Sobre Nanotecnología en TV UNAM. 2011.

No debemos reducir en tamaño, lo mejor es construir en pequeñísimo a partir del átomo. Si la naturaleza crea elementos basados en un conjunto de átomos y moléculas de acuerdo con Feynman el hombre podrá hacer lo mismo algún día. Si podemos controlar esos elementos minúsculos, en una gran escala podríamos construir cualquier cosa. Una canica o un tostador. En el nanomundo todo es infinitamente grande. *Hay mucho espacio allá abajo.*

CONSTRUYENDO DESDE ABAJO

Feynman predijo que sería posible manejar átomos y moléculas para fabricar nuevos materiales y productos con propiedades fuera de lo común. Se trata de materiales extremadamente finos y con resistencia comparable o superior a la del acero. El vislumbró entre muchas cosas que en el futuro se llevarían a cabo cirugías médicas sumamente precisas en virtud de piezas minúsculas que operarían dentro de los tejidos.

El tiempo le ha dado la razón pues no había como él lo tenía previsto, leyes físicas que impidieran llevar a cabo todos estos avances. Su sueño visionario ha sido continuado por los siguientes científicos:

*Berd Karl Binning y Heinrich Rohrer*¹¹ Premios Nóbel de Física 1986, inventores del microscopio de efecto de túnel de barrido o de scan-

ner de electrones (1981) *Scanning Tunneling Microscope*. Logran ver los átomos en la superficie de los materiales.

*K. Erick Drexler*¹² en su libro de 1986, *Engines of Creation* (*Máquinas de la Creación*) predice la era nanotecnológica que se aproxima, una visión del adelanto en la manufactura tecnológica en el diseño de los componentes, aparatos y sistemas nanomecánicos, mediante el manejo de átomos y moléculas para fabricar nuevos materiales y productos con propiedades fuera de lo común. Imagina que algún día existirán instalaciones, compuestas por entidades robóticas capaces de armarse a ellas mismas (autoensamblarse) y de fabricar otros robots que sean capaces de hacer una copia de ellos mismos (autorreplificación). Estos robots crearán átomo por átomo los elementos que necesitamos y no habrá más procesos que necesiten una gran cantidad de materia y energía, porque todo se creara ahora utilizando los mismos bloques de la creación de la materia: los átomos.¹³ Drexler afirma que si no hay más límites para manipular la materia a nivel atómico y molecular que los impuestos por las leyes físicas, entonces es necesario pensar que los humanos tenemos una gran responsabilidad moral y ética que tendremos que asumir.

¹¹ <http://inventors.about.com/library/inventors/blstm.htm>

¹² <http://metamodern.com/about-the-author/>

¹³ <http://www.foresight.org/FI/Drexler.html>

*Sumio Iijima*¹⁴ Premio Príncipe de Asturias 2008, descubre los nanotubos de carbono en 1991. Las posibilidades de los nanotubos son inmensas porque son estructuras muy resistentes en comparación con otros materiales como el Kevlar, buenos conductores eléctricos y térmicos que permitirán que se elaboren materiales más ligeros; son además capaces de almacenar energía, mucha más energía.

*Harold Kroto*¹⁵ Premio Nóbel de Química 1996, famoso por sus estudios sobre la cristalización geométrica del carbono y su descubrimiento de los fullerenos, que son estructuras compuestas por átomos de carbono con propiedades especiales, como el Buckyball o fullereno C-60 que no existe en la naturaleza, es una creación humana.

*Alan J. Heeger*¹⁶ Premio Nóbel de Química 2000 por sus investigaciones acerca de los polímeros orgánicos conductores de la electricidad; trabaja

actualmente en la creación de celdas solares y láser.

*James M. Tour*¹⁷ Premio Feynman 2008 en Nanotecnología Experimental. "No hay nada mágico en la naturaleza, sólo complejidad" se trata de construir de abajo hacía arriba, y no apilando, ladrillos, piedras, madera, varillas, cemento. Se llegará a la construcción de estructuras superiores.¹⁸

*Konstantin Novoselov y Andre Geim*¹⁹ Premios Nóbel de Física en 2010 por sus investigaciones sobre el grafeno, han mostrado que éste podría llegar a desplazar al silicio con el que se fabrican los microchips.

Comprender estas ciencias implica asombrarse de las medidas y las escalas en las que los investigadores trabajan, razón por la cual se proporcionarían algunos cuadros comparativos y se hará referencia también a la terminología que habitualmente se emplea en estos terrenos científicos para explicar sus hallazgos.

¹⁴ <http://www.kavliprize.no/artikkel/vis.html?tid=41096>

¹⁵ <http://www.kroto.info/>

¹⁶ <http://www.mrl.ucsb.edu/mrl/faculty/heeger.html>

¹⁷ <http://www.jmtour.com/>

¹⁸ <http://www.thechemblog.com/?p=832>

¹⁹ <http://www.elmundo.es/elmundo/2010/10/05/ciencia/1286269485.html>

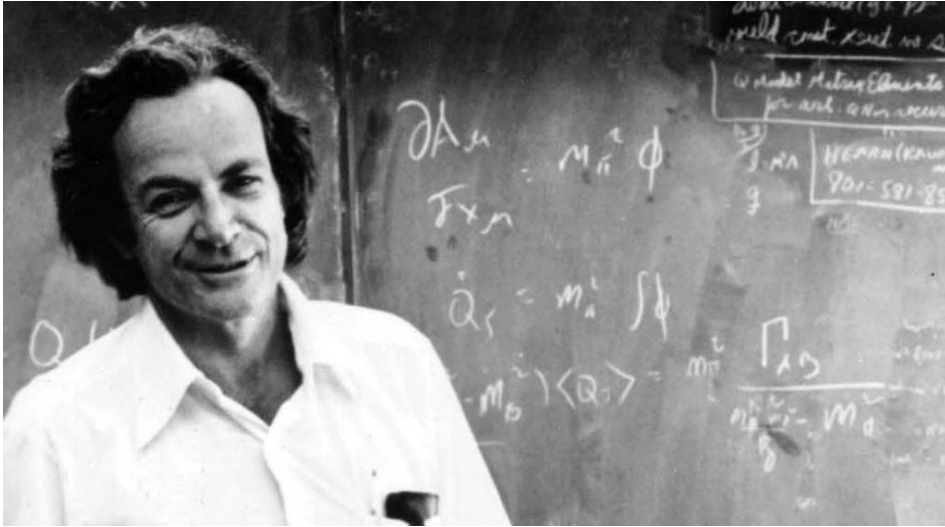


Figura 1. Richard Phillips Feynman.

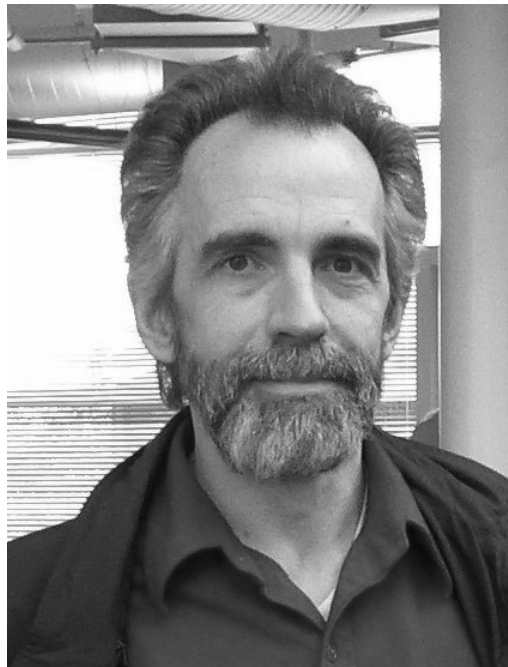


Figura 2. Kim Eric Drexler.

IV. LA ESCALA DE ESTUDIO Y DE LA TECNOLOGÍA DIMINUTA

“**Nano**” es el prefijo griego νανος que indica una medida; algo diminuto más que pequeño o bien, súper enano.

Desde arriba hacia abajo, de lo milimétrico a lo nanométrico:

Una milésima parte de un metro es un	milímetro.
La milésima parte de un milímetro es un	micrón.
La milésima parte de un micrón es el	nanómetro. (Nm)
(Un átomo es aproximadamente la quinta parte de esta última medida)	
La milésima parte de un nanómetro es el	picómetro.

Dicho de otra forma:

Un nanómetro es la **Milmillonésima** parte de un metro = **1, 000, 000,000 nm.**

Un nanómetro es la **Millonésima** parte de un milímetro = **1, 000,000 nm.**

Un nanómetro es la **Milésima** parte de un micrómetro = **1,000. Nm.**

O visto de otra manera, desde abajo hacia arriba:

Mil nanómetros configuran un micrómetro.	1000 nm.
Un millón de nanómetros forman un milímetro.	1.000.000 nm.
Mil millones de nanómetros conforman un metro.	1.000.000.000 nm.

Escala:

Un metro = 1000/1

Un milímetro = 1/1 milésima parte de un metro.

Un **micrón** = 1/1000 mil veces más pequeño que un milímetro.

Un **nanómetro** = 1/1, 000, 000,000 mil millones de veces más pequeño que un metro, un millón de veces más pequeño que un milímetro, y mil veces más pequeño que un micrón.

(10-9 metros) **0.000, 000,001 = un nanómetro.**

Un **nanómetro** tiene el ancho aproximado de 10 átomos de hidrógeno. Siete átomos de oro colocados en fila tienen una longitud aproximada de un nanómetro.

La **nanoescala** va de los 1000 **nanómetros** hasta el nivel atómico por ello la nanotecnología es el control y la manipulación de la materia en la escala de un micrómetro. (La barba de un hombre crece 5 nanómetros cada segundo).

Los **nanomateriales** son aquellos nanoelementos en los cuales se trabaja al menos en una dimensión menor a los 100 nanómetros.

Las **nanopartículas** constituyen a los nanomateriales.

V. EN LA ESCALA EN LOS ORGANISMOS VIVOS²⁰

UNA PULGA DE AGUA	=	1 MILÍMETRO	1000 MICRÓMETROS 1, 000,000 nanómetros.
VOLVOX (Algas verdes constituidas por 500 células)	=	1/10	100 MICRÓMETROS 100,000 nanómetros
DIATOMEA (Algas unicelulares)	=	1/1000	
NEMATODO (Gusanos no segmentados, como los parásitos)	=	1/10000	10, 000 nanómetros
CÉLULAS ROJAS	=	1/10000	10 MICRÓMETROS 10,000 nanómetros
BACTERIAS (Salmonela)	=	1/100000	1 MICRÓMETROS 1000 nanómetros
VÍRUS SIMPLE DE HERPES UN CROMOSOMA	=	100 NANÓMETROS	
VÍRUS DE LA POLIO	=	10 NANÓMETROS	
PROTEINAS Y OTRAS MOLÉCULAS BIOLÓGICAS Y NO BIOLÓGICAS (Buckyball o fullereno construido por el hombre C-60)	=	1 NANÓMETRO	
ÁTOMO DE HIDRÓGENO	=	0.1 NANÓMETRO	

Hacer las cosas millones y millones de veces más pequeñas supone ampliar enormemente el campo de la acción, la nanotecnología es por definición, increíblemente diversa. Vistos desde la nanotecnología somos tan sólo organismos que se autoensamblan a partir de células, desde la nanoescala hasta la microescala, y luego a la macroescala.

ÁREAS DE ESTUDIO A ESE NIVEL.

1. La comprensión de la célula y el genoma a escala molecular y atómica.
2. El comportamiento de las moléculas aisladamente.
3. La estructura a la escala atómica.
4. Los fenómenos cuánticos y su influencia.

²⁰ <http://es.games68.com/games.php?id=247283>

VI. CONCEPTOS BÁSICOS

El *Microcosmos* es la puerta de entrada al *Nanoespacio*.

“*Nano*” es entonces un prefijo griego que indica una medida y significa *pequeño*, a su vez, *pequeño* tiene como sinónimos a: Minúsculo, Diminuto, Mínimo, Ínfimo, Nonada y Enano.

Algo *Microscópico* es algo *pequeñísimo* pero, mientras que *Micro* es la *Millonésima* parte del metro, *Nano* es algo diminuto, la *Milmillonésima* parte del metro.²¹

Nanociencia: La ciencia (interdisciplinaria) que *estudia* lo más pequeño o extremadamente diminuto o minúsculo, como los átomos y las moléculas.

Nanotecnología: La técnica (interdisciplinaria) que se ocupa de la *creación, manipulación y copia* de lo más pequeño o extremadamente diminuto o minúsculo, al nivel de los átomos y las moléculas.

Nanoespacio: Es el objeto de estudio y el campo de aplicación de la nanociencia y de la nanotecnología respectivamente, comprende lo más pequeño o extremadamente diminuto

²¹ Diccionario De La Lengua Española. 22ª Ed. Madrid, España. 2011. p. 604 y 1060. Se proporcionan las siguientes definiciones: “*Enano, na*. (Del lat. *nanus*, y este del gr. *vavoc*). adj. diminuto en especie.” “*Nano-*. (Del lat. *nanus*, enano). elem. compos. Significa ‘una milmillonésima (10-9) parte’. Se aplica a nombres de unidades de medida para designar el submúltiplo correspondiente. (Simb. *n*).” “*Nanómetro*. (De *nano-* y *-metro*). m. Medida de longitud que equivale a la milmillonésima (10-9) parte del metro. (Simb. *nm*).”

o minúsculo, partiendo de las partículas atómicas, los átomos y las estructuras moleculares.

Nanomundos: Dan la idea de los *pequeñísimos* universos o *nanouniversos* que existen en el *nanoespacio*.

En la nanociencia se estudia la materia en una escala que el ojo humano no puede discernir ni percibir y, para ello, se tienen que emplear sofisticados aparatos como el microscopio de efecto de túnel de barrido* y el de fuerza atómica**; a su vez, se trata de encontrar los caminos para intervenir, así como para crear y manipular la materia y, cuando esto se logra, se convierte en nanotecnología.²²

La *nanociencia* y la *nanotecnología* cobran importancia cuando surgen los microscopios de barrido electrónico y de fuerza atómica que permiten ver los átomos, moverlos y generar algo nuevo.

²² El Mundo. *El Año De La Tecnología*. De La Fuente Alberto. Innovación/ Átomos. Jueves 27 De Diciembre del 2001. Número 73. México, D.F.

*Gerd Karl Binnig y Heinrich Rohrer, premios Nóbel de Física 1986, inventores del microscopio de efecto de túnel de barrido (1981) y colaboradores del Laboratorio de IBM en Rüslikon, Suiza. También se ha dado en denominar a este microscopio de escáner o de barrido de electrones *Scanning Tunneling Microscope (Stm)*. El escáner es un dispositivo que explora un espacio o una imagen, y los traduce en señales eléctricas para su procesamiento.

** Microscopio de Fuerza Atómica. *Atomic Force Microscope (Afm)* 1986. Trabaja como un viejo fonógrafo moviéndose sobre una superficie y detectando los movimientos de los átomos en montañas y valles.

Nanopartículas: Son partículas nanoscópicas que miden menos de 100 nanómetros, creadas artificialmente mediante una ingeniería especializada, pero son más grandes que los átomos y las moléculas. Entre dichas partículas se encuentran los *nanocristales*, los *nanoracimos* y los *nanopolvos*; con ellas se forman los *nanomateriales*, las *nanoestructuras* y las *nanomáquinas*.

Nanomateriales: Los *nanomateriales* presentan propiedades emergentes o distintas frente a las propiedades de los materiales en la macroescala en la que vivimos. Las propiedades de los materiales dependen de su forma, tamaño y composición. Ahora bien, las propiedades emergentes pueden ser magnéticas, eléctricas, caloríficas, químicas, ópticas, y repelentes; así como de resistencia, dureza, elasticidad, flexibilidad, reactividad y otras que se modifican por los efectos cuánticos. De esta manera las partículas del oro, por ejemplo, cambian a un color anaranjado en un diámetro cercano a los 100 nanómetros y a verde cuando se reducen a 50 nanómetros. El oro es un buen conductor de la electricidad pero a nivel nanométrico es un aislante. *La regla es a diferente tamaño diferentes propiedades.*

Nanoestructuras: Entre ellas se encuentran los *nanotubos* de carbono (son 100 mil veces más delgados que un cabello humano y están formados por átomos), los *fulerenos* en forma de *nanocilindros*, *nanoesferas* y *nanoeleipsoides* (entre estos destaca el *Buckyball* que se asemeja a un balón de fútbol formado por sesenta átomos de

carbono C60,) pueden estar formados de átomos de zinc, titanio, plata, oro y silicio. También hay *nanocables* de silicio muy importantes para las computadoras por ser semiconductores de luz.

Nanomáquinas: La creación de *nanobots* o *nanorobots* que sean capaces de autoensamblarse construyéndose a sí mismos y autoreplicarse, es decir, crear copias de ellos mismos, para patrullar nuestro organismo diagnosticándolo, reparándolo y curando nuestras enfermedades, es el futuro más prometedor de la nanomedicina. En este momento ya construyen *nanomotores*.

Nanoproductos: Mediante los nanomateriales y las nanoestructuras se crean *nanorecubrimientos* entre los cuales aparecen las *nanocélulas* solares en pinturas y plásticos. También *nanocompósitos*, productos en los cuales hay un componente nanométrico, como los protectores solares. Se han elaborado también aparatos de filtración y purificación de agua, artículos deportivos como las raquetas de tenis más fuertes y ligeras, ropa que puede repeler los líquidos, cosméticos, lubricantes, materiales magnéticos, baterías eléctricas y un sinnúmero de novedosos productos. *Nanodispositivos* para llevar a cabo análisis de sangre. *Nanocúmulos* de selenio para absorber el vapor de los focos fluorescentes. *Nanocuernos* estimularían al sistema inmunológico para potenciarlo a combatir enfermedades como el cáncer con mucha más eficacia.

VII. NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA

Son las ciencias interdisciplinarias que desafían a la imaginación con sus infinitas posibilidades. Más que separadas se les concibe juntas pues constituyen la investigación y la explotación de la materia a nivel nanométrico.²³

La *nanociencia* es el estudio del universo diminuto e invisible al ojo humano, en particular de los átomos y de las moléculas. Es el examen de los fenómenos extremadamente pequeños, de lo minúsculo y de lo infinitamente pequeño; por lo tanto es un campo interdisciplinario. Es el estudio de los nanomundos que conforman el nanouniverso.

La *nanotecnología* es la *técnica* que tiene como finalidad la *manipulación y aplicación* de materiales en la nanoescala, implicando su estudio, diseño y síntesis en la creación de sistemas y en la fabricación de aparatos. Es la conjugación de la ciencia y la técnica con la finalidad de la explotación de los fenómenos y de las propiedades de la materia a nivel de las estructuras moleculares y atómicas.

Las ciencias que intervienen en ambas disciplinas son las ciencias básicas: física, química, biología, medicina, tecnología de la información, ciencia de los materiales e ingeniería y las *ramas* de estas ciencias: la física

cuántica, atómica y nuclear, la ingeniería electrónica y mecánica y también las *interrelaciones* de las disciplinas: bioquímica, biogenética, biología intermolecular y muchas otras. Es la interrelación de varios campos de las ciencias en donde las fronteras se han diluido al ocuparse de lo muy pequeño o diminuto. A su vez se han creado nuevas ramas del saber: nanobiotecnología, nanobiociencia, nanobioelectrónica, nanobioingeniería, nanomedicina, nanoética y muchas más.

Visto de otra manera la nanociencia y la nanotecnología *no* se conciben separadas, son campos multidisciplinarios que requieren de las aportaciones de científicos de áreas muy diversas: físicos, químicos, ingenieros, biólogos, médicos, matemáticos, genetistas, metalúrgicos, robóticos, etcétera.

El crecimiento de esta área es vertiginoso y hay muchos campos beneficiados como los de la medicina, el medio ambiente y el sector energético. De esta manera las industrias interesadas son: la electrónica, la informática, la médica, la farmacéutica, la atómica, la textil, la de la construcción, la armamentista, la deportiva y las del entretenimiento, por mencionar algunas.

La nanotecnología se ocupa de copiar, obtener y/o manipular de manera controlada, materiales y sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran en la naturaleza; pero también de construir materiales y sustancias que *no* se encuentran en la naturaleza. Una parte importante de la nanotecnología está enfocada al desarrollo y a la aplicación práctica de estructuras y sistemas, así como a la construcción de dispositi-

²³ *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencia Y Nano- Tecnología.* Vol 3, No 1, Enero- Junio, 2010. Pág. 29 a 45.

vos de muy reducidas dimensiones que se miden en escala nanométrica. Estos dispositivos pueden incluso ser la unión de organismos vivos (una célula, una bacteria, un virus) con materia artificial creada por los humanos (un nanometal, un nanotubo).

Esa manipulación entraña el reordenamiento de átomos y moléculas dando lugar a la posibilidad de crear nuevos materiales y fabricar máquinas en la escala nanométrica. Entonces la *nanotecnología* es la técnica para reordenar, manipular y controlar: partículas subatómicas, átomos, moléculas, virus, bacterias, células y organismos microscópicos.

Las ciencias que intervienen en la nanociencia tienen como finalidad llegar a aplicaciones de nanotecnología, es decir, producir nuevos materiales con propiedades extraordinarias que permitan a la industria crear nuevos productos o mejorar los existentes. El ejemplo es el grafeno descubierto por *Konstantin Novoselov y Andre Geim*²⁴ Premios Nóbel de Física en 2010, un material bidimensional obtenido del grafito, que es una estructura plana de sólo un átomo de grosor y que revolucionará los dispositivos electrónicos por ser un material altamente flexible, de gran resistencia y poco contaminante, con él se pueden fabricar dispositivos enrollables y en estos momentos tiene un gran desarrollo en la elaboración de paneles solares. El grafeno podría llegar a desplazar al silicio con el que se fabrican los microchips.

Se pueden producir materiales inteligentes que tienen las propiedades de autorepararse, cambiar de color, forma, o presentar otras cualidades, como las de enfriarse o calentarse en respuesta a cambios producidos o previstos por los diseñadores, tales como luz, sonido, temperatura, voltaje y muchos otros. Todos estos materiales con el tiempo llegarán a ser más baratos, más livianos y más eficientes.

En conclusión la nanociencia y la nanotecnología son la ciencia y la técnica de los procesos y de los fenómenos extremadamente pequeños, a escalas nanoscópicas.

Su objetivo práctico es principalmente el llegar a edificar de “*abajo hacia arriba*”, construyendo y ensamblando desde los átomos, para crear estructuras moleculares, sin descuidar los procesos de miniaturización “*de arriba hacia abajo*”, es decir, de lo grande a lo chico.

Su objetivo económico es crear algo más pequeño, más barato, más eficiente y sin contaminación. Ejemplo, pilas tan delgadas como el papel pero extraordinariamente poderosas. Pantallas para computadora que consuman menos energía y tengan una mejor resolución.

²⁴ <http://www.elmundo.es/elmundo/2010/10/05/ciencia/1286269485.html>

VIII. INVENTOS

De los últimos inventos registrados se encuentran las *nanomallas* en forma de colmena que facilitan al autoensamblaje en los sistemas de andamiaje de la nanotecnología.²⁵ Los *parches electrónicos o sistemas electrónico epidérmico* (EES por sus siglas en inglés) que se integran a la piel de una manera mecánica y fisiológicamente invisible para el usuario, con los que se puede medir el ritmo cardíaco, las ondas cerebrales y la actividad muscular, es decir, medir los signos vitales, diagnosticarlos y comunicarse.²⁶

Tejidos inteligentes que repelen la suciedad y los líquidos, y mediante sensores pueden medir la temperatura, la respiración, las pulsaciones; proteger al cuerpo del frío y refrescarlo en verano; cambiar de color según el clima o la situación. Cintas de películas fotovoltaicas que aplicadas en los techos de las casas son capaces de

producir energía eléctrica y, a la larga, sustituirán a los costosos paneles solares. Pilas infinitas que se autorecargen mediante el tecleo de la computadora y la presión sanguínea. En fin, una maravilla de inventos que cambiarán nuestras vidas.

La *nanociencia* y la *nanotecnología* han surgido de las necesidades que se van presentando en diversos campos. Por ejemplo la NASA impulsa la *nanomedicina* en la preparación de futuros viajes tripulados a Marte. También estas ciencias han surgido de la curiosidad y de las exigencias que tiene la industria electrónica de superar con urgencia los límites del tamaño de los dispositivos electrónicos y del empleo del silicio en los circuitos integrados. Estas ciencias han dado lugar a la *nanoelectrónica* que será la sucesora de la microelectrónica y es en esta área en donde se han dado los mayores desarrollos. Por eso es necesario ejemplificar algo sobre ella a continuación.

²⁵ <http://www.faq-mac.com/43887/impulso-nanociencia-gracias-material-estructura-malla-forma-colmena>

²⁶ <http://www.elpais.com.uy/110812/pnacio-586043/nacional/piel-electronica-permite-medir-signos-vitales-y-comunicarse/>

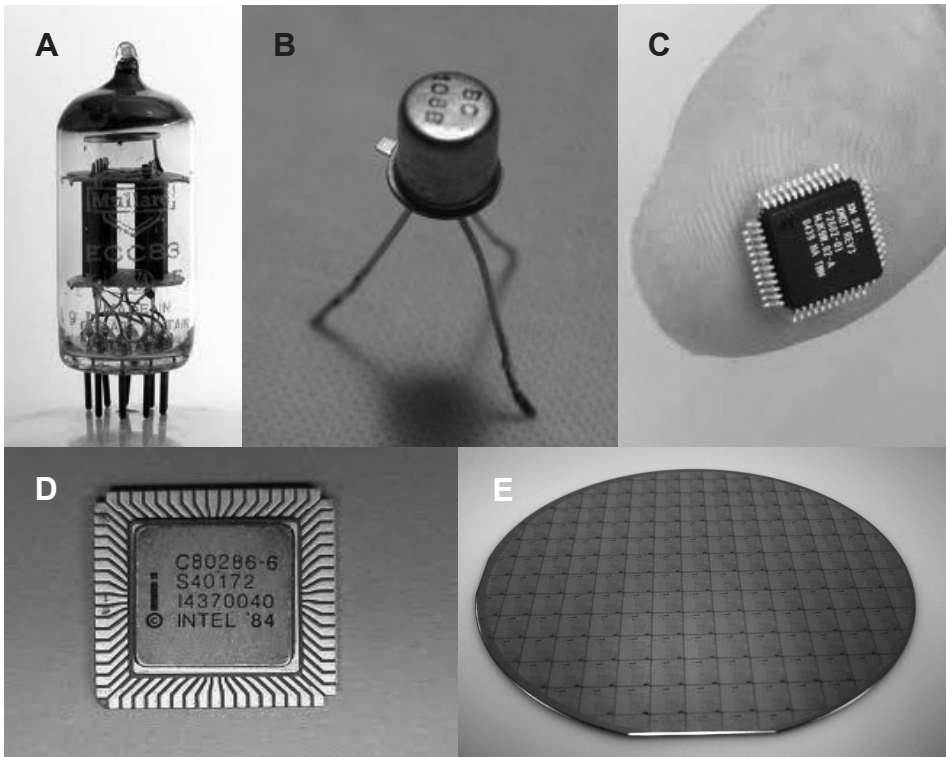


Figura 3. A. Bulbo; B. Transistor; C. Circuito integrado; D. Microchip; E. Circuito Integrado Sobre Una Hoja De Grafeno.

IX. MÁS PEQUEÑO QUE LA MICROELECTRÓNICA ES LA NANOELECTRÓNICA

UN BULBO (Válvula termoiónica o tubo de vacío)	=	MÁS DE 20 CENTÍMETROS
UN TRANSISTOR	=	5 CENTÍMETROS
UN CIRCUITO INTEGRADO QUE COMPRENDE VARIOS TRANSISTORES	=	5 CENTÍMETROS
UN CHIP QUE COMPRENDE VARIOS CIRCUITOS INTEGRADOS Y, POR LO TANTO, CONTIENE YA UNA MULTIPLICIDAD DE TRANSISTORES (Intel 4004 da lugar al primer microprocesador con 2300 transistores)	=	2 CENTÍMETROS
UN MICROCHIP CONTIENE MILLONES DE TRANSISTORES (Core 7 con 700 millones de transistores)	=	2 MILÍMETROS O MENOS
UN TRANSISTOR DE SILICIO	=	200 NANÓMETROS
UN TRANSISTOR DE SILICIO EN ESCALA MOLECULAR de IBM. (año 2002) *	=	6 NANÓMETROS
EL TRANSISTOR MÁS PEQUEÑO DEL MUNDO. (año 2010) ** Un punto cuántico de sólo siete átomos en un cristal de silicio. A pesar de su tamaño increíblemente pequeño (sólo cuatro mil millonésimas de un metro de largo), el punto cuántico es un dispositivo electrónico funcional, el primero del mundo creado deliberadamente colocando átomos individuales; logro del equipo del UNSW Centre for Quantum Computer Technology (CQCT) y la University of Wisconsin-Madison. La posibilidad de la computadora cuántica.	=	7 ÁTOMOS DE UN CRISTAL DE SILICIO
CIRCUITO INTEGRADO SOBRE UNA HOJA DE GRAFENO. (año 2011) *** (Es una red hexagonal de carbono, de un sólo átomo)	=	UN SOLO ÁTOMO DE GROSOR

Wafer-Scale Graphene Integrated Circuit

1. Yu-Ming Lin*, Alberto Valdes-Garcia, Shu-Jen Han, Damon B. Farmer, Inanc Meric†, Yanning Sun, Yanqing Wu, Christos Dimitrakopoulos, Alfred Grill, Phaedon Avouris*, Keith A. Jenkins

* <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/12596.ibm-crea-el-transistor-mas-pequeno-del-mundo.html>

** <http://www.nanotecnologica.com/transistor-mas-pequeno-del-mundo-fabricado-aprecision/>

*** <http://www.sciencemag.org/content/332/6035/1294.short>

Por otra parte:

UN MEMS

UN SISTEMA MICROELECTROMECÁNICO QUE SE INTEGRA POR PARTE

MÓVILES, PRINCIPALMENTE SENSORES.

(Se fusionan con sistemas nanoelectromecánicos NEMS)

(Los sensores pueden ser de cambios de temperatura, presión e incluso de presencia de sustancias tóxicas.)

(Los automóviles actuales los utilizan)

= 1 MILÍMETRO A UN MICRÓN.

MINIROTOR ELÉCTRICO.

CREADO POR ALEX ZETTL Y SUS COLEGAS EN LA UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA.

DOS MIL VECES MÁS PEQUEÑO QUE UN PELO HUMANO.

= 40 NANÓMETROS

SE TRABAJA AHORA EN:

NANOMOTORES Y NANOMÁQUINAS CONSTRUIDOS A PARTIR DE BLOQUES MOLECULARES

=

UNIONES DE NANOTUBOS DE CARBONO

= 21 NANÓMETROS DE CARBONO

UN NANOTUBO

= 2 NANÓMETROS

UN NANÓMETRO

= 10 ÁTOMOS DE HIDRÓGENO

Se espera aprovechar también:

A los átomos y a sus partículas. El átomo formado por un núcleo y sus electrones; a su vez el núcleo atómico formado por neutrones y protones; estos últimos formados por quarks a los cuales se les conoce como = arriba, abajo, extraño, encanto, superior e inferior.

*El Procesador Cuántico A La Vista*²⁷

El equipo de Olivier Pfister, en la Universidad de Virginia, logró crear un gran número de qubits entrelazados, al que se denomina Qmodo.

“El equipo empleó láseres para conseguir 15 grupos de cuatro Qmodos cada uno. Así tuvieron 60 Qmodos. Cada Qmodo con un color definido de forma muy precisa.”

*“Con este resultado, esperamos avanzar de una multitud de pequeños procesadores cuánticos a un masivo procesador cuántico entrelazado, prerrequisito para cualquier computadora cuántica”, dice Pfister.*²⁸

²⁷ González de Alba, Luis. *El procesador cuántico está a la vista*. Milenio. Domingo 17 de Julio de 2011. Pág. 37

²⁸ <http://physicsinventions.com/index.php/2011/07/15/u-va-s-pfister-accomplishes-breakthrough-toward-quantum-computing/>

X. RESPONSABILIDAD, RIESGOS Y PELIGROS

La tecnología no es buena o mala en sí pero no hay tecnología sin riesgos, todas traen beneficios y perjuicios. La historia ha mostrado que la promesa de eliminar las diferencias sociales puede ir en el sentido inverso e incrementarlas. ¿Cómo evitar la brecha nanotecnológica que se aproxima, si hay naciones y transnacionales que pretenden adueñarse del mundo a través de patentar átomos y moléculas?

Con las nanopartículas y los nanomateriales se pueden crear aparatos y sistemas novedosos, mucho más potentes y cientos de veces menos costosos que los actuales, porque los fenómenos y las propiedades que ellos incorporan son totalmente nuevos. De esta manera, esta tecnología puede generar una guerra de precios y un desigual manejo de ofertas que ocasionarían cambios en la estructura de la sociedad y en los sistemas económicos-políticos.

Al igual que el derecho, la toxicología²⁹ en su rama de nanotoxicología va atrás de los avances nanotecnológicos. No hay suficientes recursos para comprobar la toxicidad de las nanopartículas y los nanomateriales, así como la de los productos con ellos elaborados ¿cuánto se invierte en verificar la seguridad de los nanomateriales? nunca lo suficiente porque no hay una cartografía ni un mapa completo de los riesgos.

Se esperan grandes beneficios de la nanotecnología para la humanidad, pero al mismo tiempo, existen riesgos potenciales al hacer un uso de una nanotecnología que no es lo suficientemente responsable de sus efectos y, desde luego, el peligro de hacer deliberadamente un mal uso de ella:

- Ocasionar daños ambientales que pueden ser irreversibles.
- Poner en riesgo la salud de todos los organismos vivos a través de productos nano- tecnológicos no regulados.
- Surgimiento de un mercado negro para esos productos no regulados.
- Creación de armas mucho más potentes y más baratas, basadas en la nanotecnología.
- Uso criminal o terrorista.

El gran peligro de las nanopartículas y de los nanomateriales es precisamente su tamaño, no tenemos defensas en nuestro sistema inmunológico frente a ellas. Los daños tóxicos ya comprobados que pueden llegar a ocasionar, son los siguientes:

Las partículas de dióxido de titanio en altas concentraciones interfieren con las funciones de la piel y las células pulmonares. Las de la plata son altamente tóxicas en las células de hígado y en las células cerebrales de ratas. Las de zinc y dióxido de zinc causan daño en páncreas, corazón, bazo e hígado de ratones. Las de dióxido de silicio inhiben el crecimiento celular y causan posibles daños neurodegene-

²⁹ <http://www.razonypalabra.org.mx/N/n68/10hreyes.html>

rativos.³⁰ Los fulerenos o pequeñísimas partículas de carbono han llegado a causar daño en el cerebro de los peces y ocasionaron la muerte de las pulgas de agua.

El resultado es que tanto las nanopartículas como los nanomateriales podrían acumularse a través de la cadena alimenticia y contaminar a todos los organismos vivos.

El grupo de los “Amigos de la Tierra” ETC, advierten sobre las nanopartículas de plata que tienen propiedades antibacteriales que pueden dañar las células humanas y también para el medio ambiente eliminando las buenas bacterias en el agua- Hacia dónde pueden llegar esas nanopartículas después de que son empleadas en los aparatos eléctricos como lavadoras y refrigeradores- por estos peligros y muchos más, este grupo pide que estas ciencias “...deberían ser objeto de una moratoria global inmediata.”³¹

Por otra parte, parecería ciencia ficción pero ya están aquí, los nuevos chips llamados transpondedores o tags RFID o etiquetas de identificación por radio frecuencia, más efectivos, baratos e invisibles que proporcionan información acerca de nuestras vidas privadas, sin que lo sepamos o podamos eliminarlos.” *¿Cómo se sentiría usted si, por ejemplo, un día se diera cuenta de que su ropa interior permite revelar su paradero?*”, así lo dijo la senadora

del estado de California Debra Bowen, en una audiencia en 2003.³²

XI. FUTURO JURÍDICO

Una correcta regulación de la nanotecnología tiene que sustentarse en una buena nanoética en la que el aspecto central sea el de considerar su uso, un bien tanto para el medio ambiente, como para los humanos. Sin embargo, en una visión capitalista del tema, de lo primero que se habla es del derecho a patentar los descubrimientos y las aplicaciones de la nanotecnología, en otras palabras, del derecho de propiedad.³³ Las cosas tendrían que ir en otro sentido y a continuación se proporcionan algunas ideas jurídicas sobre lo que se necesitará:

En primer lugar establecer los *protocolos normativos* para la investigación y para la práctica de estas ciencias e intercambiar y compartir los que ya se tienen; los cuales incluirán las medidas de seguridad para el personal que trabaja en los centros dedicados a estas áreas y sus instrumentos de trabajo, así como de las instancias que se ocuparán de vigilar todo ello.

En segundo lugar crear la regulación relativa a la manipulación de todos las *nanopartículas*, los *nanomateriales* y de los organismos con los que se trabaje.

³⁰ *Nanotecnología Aplicada. Pequeña Gran Industria*. Revista Muy Interesante. Año XXVIII No 01. Pág. 58-62

³¹ http://www.somosamigosdelatierra.org/06_contaminacion/nanotecnologias/nanotec_01.html

³² Wikipedia, La Enciclopedia Libre. Artículo RFID.

³³ *Mundo Nano. Nanotechnology Legal Aspects*. Revista Interdisciplinaria En Nanociencia Y Nanotecnología. Vol 2, No 2, Julio-Diciembre de 2009. Pág. 110 a 119.

En tercer lugar desarrollar toda una nanotoxicología que examine los efectos de las *nanopartículas*, los *nanomateriales* y los productos que los contengan, mediante una ley que obligue a destinar una buena parte de los recursos que se les aporta, para ese fin.

En cuarto lugar fijar los métodos de detección de *nanopartículas* y *nanomateriales* en el ambiente y el establecer un ciclo de vida para cada producto.

En quinto lugar las medidas de seguridad para la creación, manejo, transporte, distribución, reciclado, extinción y desecho de los productos que contengan productos nanotecnológicos. *“Publicar por parte de los fabricantes los procedimientos para el manejo de los productos con nanopartículas y nanotubos de carbono en las fases finales de su ciclo de vida, ya sea vía desecho, destrucción o reciclado [Royal, 2004]”*³⁴

En sexto lugar la inspección de los productos para la comercialización, que contengan materiales nanotecnológicos y la reglamentación de los futuros contratos que celebren las compañías que los produzcan.

En séptimo lugar el hacer del conocimiento público esos productos, obligando a proporcionar la información en su etiquetado. *“Recomendar a los fabricantes la emisión de una declara-*

*ción formal de los nanomateriales que se hayan agregado a sus productos.”*³⁵

En octavo lugar es necesario también cuidar al consumidor de productos que sostienen estar elaborados con materiales nanotecnológicos pero que son en realidad un fraude, al solamente incluir el prefijo nano en el producto.

En noveno lugar aparecen las conexas áreas de la protección de los derechos de autor, de las patentes y de la propiedad industrial, de los convenios y contratos, de los registros de salud pública, de las exportaciones y de muchos más aspectos jurídicos que será necesario vislumbrar.

En décimo lugar todo lo relativo a la negligencia, responsabilidad y uso criminal de la nanotecnología³⁶

Al momento de escribir este artículo aparece un grupo radical que se autodenomina *Individualidades Tendiendo a los Salvaje (ITS)* sostiene lo siguiente:

La nanotecnología es lo más avanzado que pueda existir hasta ahora en la historia del progreso antropocentrista. Esta consiste en el total estudio, el escrutinio de la manipulación y la dominación de todo lo más diminuto, invisible para los ojos humanos. Con esto los humanos han logrado controlar ya todo, absolutamente todo, desde los cambios en el clima hasta la más pequeña molécula atómica. La Civilización aparte de amenazar nuestra libertad como Individuos,

³⁴ Mundo Nano. *Mediciones Confiables Para El Cuidado De La Salud Humana Y La Preservación Del Ambiente Ante La Exposición A Nanomateriales*. Revista Interdisciplinaria En Nanociencia Y Nanotecnología. Vol 3, No 2, Julio-Diciembre, 2010. Pág. 20

³⁵ Op. Cit. Pág. 20

³⁶ Mundo Nano. *Nanotechnology Legal Aspects*. Revista Interdisciplinaria En Nanociencia Y Nanotecnología. Vol 2, No 2, Julio-Diciembre de 2009. Pág. 110 a 119.

la de los Animales y de la Tierra, ahora su amenaza ha pasado a una escala menor que un micrómetro.³⁷

Lamentablemente han llevado a cabo un atentado en contra de dos profesores del Tecnológico de Monterrey campus Estado de México, dedicados a la nanotecnología: Alejandro Aceves López y Armando Herrera Corral. Desde luego que puede llegar a darse una nanocatástrofe si las nanopartículas fabricadas se sueltan libremente por el agua, el aire o la tierra, pero no es el camino adecuado para darlo a conocer y oponerse a ello.

El objetivo era escribir un artículo de divulgación sobre *nanociencia* y *nanotecnología* para los juristas, y ahora resulta que la realidad se ha adelantado una vez más, y surge la necesidad de brindar protección a los investigadores que trabajan en ellas y a los centros en los cuales estas ciencias se llevan a cabo.

XII. FUENTES

Feynman, Richard P. *Seis Piezas Fáciles*. Ed. Crítica. Barcelona, España. 1998.

Marx, Carlos Y Engels F. *Obras Escogidas*. Tomo 1. Prólogo de la Contribución a la Crítica de la Economía Política. Ed. Progreso Moscú. 1980.

Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencia Y Nanotecnología.

5 Volúmenes. 2008 a 2010.

Nanotecnología Aplicada. Revista Muy Interesante. Año XXVIII No 01.

Cuatro Programas Sobre Nanotecnología En TV UNAM En 2011.

El Mundo. El Año De La Tecnología. De La Fuente Alberto.

Innovación/ Átomos. Jueves 27 De Diciembre Del 2001. Número 73. México, D.F.

González De Alba, Luis. *El procesador cuántico está a la vista*. Milenio. Domingo 17 de Julio de 2011.

Diccionario De La Lengua Española. 22ª Ed. Madrid, España. 2011

<http://www.nanotecnologica.com/los-paises-y-sus-inversiones-multimillonarias-en-la-nanotecnologia/>

<http://www.nanolawreport.com/2010/01/articles/the-nanotechnology-safety-act-of-010/#axzz1UTgVoc00>

³⁷ <http://vivalaanarquia.wordpress.com/2011/04/27/mexico-paquete-explosivo-al-encargado-de-la-division-de-ingenieria-en-nanotecnologia-universidad-politecnica-del-valle-de-mexico/>

- <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>
- <http://www.sciencemag.org/content/332/6035/1294.short>
- <http://inventors.about.com/library/inventors/blstm.htm>
- <http://www.bl.gov/msd/programs/1md/2.1cfn.html>
- <http://metamodern.com/about-the-author/>
- <http://physicsinventions.com/index.php/2011/07/15/u-va-s-pfister-accomplishes-breakthrough-toward-quantum-computing/>
- <http://www.foresight.org/FI/Drexler.html>
- http://www.somosamigosdelatierra.org/06_contaminacion/nanotecnologias/nanotec_01.html://Wikipedia, La Enciclopedia Libre.
- <http://www.kavliprize.no/artikkel/vis.html?tid=41096>
- <http://www.kroto.info/>
- <http://vivalaanarquia.wordpress.com/2011/04/27/mexico-paquete-explosivo-al-encargado-de-la-division-de-ingenieria-en-nanotecnologia-universidad-politecnica-del-valle-de-mexico/>
- <http://www.mrl.ucsb.edu/mrl/faculty/heeger.html>
- <http://www.jmtour.com/>
- <http://www.thechemblog.com/?p=832>
- <http://www.elmundo.es/elmundo/2011/07/15/nanotecnologia/1310739455.html>
- <http://www.es.games68.com/games.php?id=247283>
- http://www.informatica-juridica.com/trabajos/La_nanotecnologia_y_el_Derecho.asp
- <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/12596.ibm-crea-el-transistor-mas-pequeno-del-mundo.html>
- <http://naturzientziak.wordpress.com/2011/02/13/nanotecnologia-de-ciencia-ficcion-a-negocio-rentable/>
- <http://www.nanotecnologica.com/transistor-mas-pequeno-del-mundo-fabricado-a-precision/>