

Autor / Author

CANABAL BERLANGA, Alfonso

Universidad Francisco de Vitoria (Madrid)

alcanabal@gmail.com

RECIBIDO / RECEIVED

18 de mayo de 2015

ACEPTADO / ACCEPTED

18 de junio de 2015

PÁGINAS / PAGES

De la 95 a la 106

ISSN / ISSN

2386-2912

Nanoética. Una reflexión ética necesaria por una nueva revolución científica, la Nanotecnología

Nanoethics. An ethical reflection required by a new scientific revolution, Nanotechnology

El artículo muestra los orígenes y desarrollo de la nanotecnología. La producción de los nanoproductos y su comercialización supone un reto a la hora de respetar los intereses del ser humano, conservar el equilibrio medioambiental y económico, siendo protagonista de las reflexiones éticas iniciales la bioseguridad en la fabricación de sus componentes y sus repercusiones medioambientales. La nanotecnología supone una oportunidad de mejorar la vida de las personas, pero también puede constituir una oportunidad para el desequilibrio socioeconómico, la carrera armamentística y una amenaza para la naturaleza del ser humano. Recogemos las recomendaciones más importantes que deberían gobernar este proceso innovador en todas sus vertientes, directrices procedimentales, otras más filosóficas, intentando no perder la perspectiva ética de un mundo tan tecnificado.

#Nanoética #Nanotecnologia

The article shows the origins and development of nanotechnology. The production and marketing of nanoproducts are a challenge when it comes to respecting the interests of human beings, and to preserving environmental and economic balance. Biosafety in component manufacturing as well as its environmental impact are the main protagonists in the ethical reflection. Nanotechnology offers an opportunity to improve the lives of people, but can also be a cause of socioeconomic imbalance, a contributor to the arms race and a threat to human nature. While always trying not to lose the ethical perspective of such a technologized world, we collect the most important recommendations that should govern this innovative process in all its aspects, the procedural guidelines, and other issues of a more philosophical nature.

#Nanoethics #Nanotechnology

1. Introducción

1.1. Historia y desarrollo de la nanotecnología

Como todos los comienzos de una determinada disciplina no es posible establecer un momento concreto de su inicio, siempre existe un solapamiento o una concatenación de sucesos que permite la generación de una idea, una forma pensar, de hacer ciencia y tecnología. Existen algunos eventos predecesores como la invención del microscopio de emisión de campo en 1936 por Erwin Müller, de Siemens, que posibilitó la obtención de imágenes cercanas a resolución atómica de los materiales. Durante los años 40, Von Neuman estudió la posibilidad de crear sistemas que se auto-reproducen como una forma de reducir costes, concepto recuperado luego con las ideas de K. Eric Drexler. Aparece por primera vez acuñado el término- "ingeniería molecular" en 1956 por Arthur von Hippel. En 1958 Jack Kilby de Texas Instruments, diseña y construye el primer circuito integrado, por el que posteriormente recibiría el Premio Nobel en 2000.

Conceptualmente podríamos decir que se comienza a pensar en la nanotecnología como medio de producción a la escala nano por Richard Feynman, en 1959 en su conferencia titulada, "Hay mucho espacio en el fondo" (Feynman, 1960: 22) pronunciada en un congreso de la Sociedad Americana de Física en el Instituto de Tecnología de California. Describió un proceso por medio del cual podríamos desarrollar la habilidad para manipular átomos y moléculas individuales, empleando herramientas de precisión. Él decía: "A mi modo de ver, los principios de la Física no se pronuncian en contra de la posibilidad de maniobrar las cosas átomo por átomo", auguraba una gran cantidad de nuevos descubrimientos si se pudiera fabricar materiales de dimensiones atómicas o moleculares.

Norio Taniguchi, científico japonés de la Universidad de Ciencia de Tokio, empleó por vez primera el término "*nano-tecnología*" en una conferencia en 1974 (Taniguchi, 1974:18), consiste principalmente en "*el procesado, separación, consolidación y deformación de materiales átomo por átomo, molécula por molécula.*"

Hubo poca repercusión de las teorías de Feynman en los siguientes 20 años y fué la invención del microscopio de efecto tunel, en 1981 por Gerd Binnig y Heinrich Rohrer (Binnig, Rohrer, 1986: 4) el que permite manipular átomos y obtiene imágenes con resoluciones de sub-ångström. 1×10^{-10} m. Fue Don Eigler el primero en manipular átomos usando un microscopio de efecto túnel en 1989, usando 35 átomos Xe para escribir las siglas IBM para las que trabajaba (Browne, Malcolm, 1990). Según John E. Kelly III, vicepresidente senior de IBM y director de la división Research, "*la invención del microscopio de efecto túnel supuso un momento trascendental en la historia de la ciencia y la tecnología de la información, ya que dio a los científicos la capacidad de ver, medir y manipular átomos por primera vez y abrió nuevos caminos que todavía hoy estamos investigando.*"

Cuando hablamos de la escala nano nos referimos a la mil millonésima parte de un metro, 10^{-9} , lo que permite en escala de longitudes de 1 a 100 nanómetros la manipulación de átomos y moléculas. En esa escala las leyes de la física son diferentes y la gravedad se haría menos determinante, mientras que fuerzas de tensión superficial o fuerzas de Van der Waals adquirirían gran importancia. Son diferentes las propiedades físicas, químicas y biológicas de los materiales

El Término "nanotecnología" aparece en el libro "Motores de la Creación: la próxima Era de la Nanotecnología". (Drexler, 1986). Él redescubrió el discurso de Feynman y comentaba la posibilidad de realizar procesos automáticos de fabricación en el que mil millones de pequeñas

fábricas podrían construir más copias de sí mismas sin la participación de un operador humano. Propuso por vez primera el término “*plaga gris*” para describir lo que podría ocurrir si una máquina hipotética auto-replicante capaz de operar independientemente, fuera construida y liberada en el ambiente. Drexler fundó el Foresight Institute en 1986 con la misión de Prepararnos para la nanotecnología. Otras frases extraídas de su obra motores de la creación fueron: “*El enfermo, el anciano y el herido sufren una desorganización de los átomos provocada por un virus, el paso del tiempo o un accidente de coche*”, “*En el futuro habrá aparatos capaces de reorganizar los átomos y colocarlos en su lugar*”. Hoy en día son múltiples las aplicaciones para la medicina que podrán proporcionar una revolución en la concepción de los dispositivos médicos, fármacos y medios diagnósticos.

Otro descubrimiento clave en el desarrollo del mundo de la nanotecnología es el Buckminsterfullereno, buckybola o futboleno, (Kroto, et al. 1985: 162). Es una molécula (fullereno) esférica con la fórmula empírica C₆₀. Estructura tridimensional en forma de jaula integrada por anillos de carbono unidos en una configuración de icosaedro truncado que asemeja a un balón de fútbol. Las moléculas de C₆₀ pueden enjaular y transportar átomos y hasta otras moléculas (tales como marcadores radioactivos) dentro del cuerpo humano, a sus descubridores les concedió el premio Nobel de Química en 1996.

El nanotubo, estructura creada por una sucesión de Hexágonos interconectados 10.000 veces más delgado que un cabello. Creados por Sumio Iijima. Compañía NEC 1991, publicado en la revista Nature (Iijima, 1991:56). Son sistemas ligeros, huecos y porosos que tienen alta resistencia mecánica a la tracción y enorme elasticidad, comportamiento aislante, semiconductor con alta capacidad de emisión de electrones. Suponen materiales de “base”, utilizados para la síntesis de nanoestructuras vía autoensamblado, con propiedades y simetría únicas que determinan sus potenciales aplicaciones en campos que van desde la electrónica, formación de composites, almacenamiento de energía, sensores o biomedicina.

El grafeno. El Premio Nobel de Física de 2010 se les otorgó a Andréy Gueim y a Konstantín Novosiólov por sus revolucionarios descubrimientos acerca de este material (Geim, Novoselov 2007, 183). Es un material 200 veces más flexible y resistente que el acero con alta conductividad térmica y eléctrica. El grafeno ha posibilitado la fabricación de multitud de materiales electrónicos, flexibles. Combinada con la tecnología del vidrio posibilita la fabricación de múltiples pantallas táctiles interactivas y existen multitud de desarrollos a la domótica robotizada. Existen proyectos de redefinición de vehículos a motor, aeronaves, células solares, sensores químicos, etc.

Durante las décadas de los años 1990 y 2000 Los productos de consumo que hacen uso de la nanotecnología comienzan a aparecer en el mercado, no siempre identificados como nanoproducidos: productos deportivos, dispositivos médicos o ropa con la denominación de antibacterianos por llevar nano-plata, protectores solares, ropa sin arrugas, hidrófoba, cosméticos terapéuticos de penetración profunda, vidrio resistente a los arañazos, baterías de más rápida recarga, mejoras en las pantallas para televisores, teléfonos celulares y cámaras digitales.

Más recientemente, (Sherman, Seeman, 2004: 1203) y Nadrian Seeman, (Winfree, et al. 1998: 539) colegas de la Universidad de Nueva York crean varios dispositivos a nanoescala con un montaje robótico de ADN. Se trata de un proceso de creación de estructuras de ADN en 3D, utilizando secuencias sintéticas de cristales de ADN que pueden ser programados para auto-ensamblarse. “Una línea de montaje de ADN.” Por este trabajo, Seeman compartió el Premio Kavli de Nanociencia en 2010. Existen otros logros de la nanotecnología, pero hemos reseñado los más importantes.

1.2. En la actualidad

Son muchos más los hitos espectaculares que nos ha ofrecido los nanotecnólogos en los últimos años, la producción y aplicaciones aumentan de forma exponencial y la reflexión ética se hace urgente, entre otras muchas cosas, para que la ciencia no olvide que la innovación debe buscar el beneficio del ser humano y no crecer, financiarse sin llegar a ningún fin, desperdiciando recursos, duplicando desarrollos por competitividad excesiva o simplemente creando en perjuicio de la sociedad o sus individuos.

Actualmente los ciudadanos disfrutan de un gran acceso a la información, reciben conocimientos divulgativos científicos y una fuerte presión de publicidad en una sociedad consumista, las noticias sobre descubrimientos en nanotecnología probablemente sean recibidas a través de canales de comunicación en forma de nuevas oportunidades, mejoras en dispositivos tecnológicos, sanitarios, cosméticos, domótica, etc. Se hace necesario lo que se ha venido a denominar nanodiálogo (Buxó, 2010) que significa un encuentro multidisciplinar entre la población, las autoridades, la industria y ciencia para abordar la nanotecnología desde el punto de vista de la necesidad y deseo de los ciudadanos, puesto que el desarrollo industrial requiere una fuertísima inversión de medios económicos y tecnológicos publico- privados y se debe alcanzar objetivos de satisfacción en base a las necesidades de la población.

Los resultados de la producción tecnológica no debería ser tan costosa que solo estuviese al alcance de unos pocos, existe una posibilidad de que los productos supongan una oportunidad para la mejora de la calidad de vida de muchas personas. Es una incógnita como pueden afectar equilibrio económico globalizado, la creación de materiales mas resistentes y ligeros, tejidos hidrófobos mas duraderos, procesos productivos automáticos que tienen menos residuos y por ello, a largo plazo, serán mas baratos, sistemas energéticos más eficientes. Existe una oportunidad de reducir el impacto, la necesidad y dependencia de los combustibles fósiles. Sin duda aspectos económicos derivados de estos progresos serán determinantes para que se desarrollen o se frenen, independientemente de la bondad de sus propiedades. Si contemplamos el desarrollo como mero crecimiento económico; no daremos la verdadera dimensión al progreso humano integral que tenga como centro a la persona en todas sus dimensiones.

Por otra parte existe la posibilidad que los recursos y conocimientos de la nanotecnología sean empleados para el mal; bioterrorismo, armamentos, en definitiva para desequilibrar el mundo a favor del que tenga mejor armamento (drones, nanobots, guerra biológica, espionaje, etc.).

1.3. Beneficios de la nanotecnología

Sus ventajas no se reducen simplemente al tamaño, sino que, a esa escala, se incrementan la eficiencia energética y la biocompatibilidad de los materiales y dispositivos en células y tejidos. Tienen unas características favorables respecto a los materiales conocidos en resistencia, reactividad, conductividad, flexibilidad y ligereza (Buxó, Casado, 2010: 20).

La nanotecnología puede contribuir a reducir los grandes problemas sociales y el sufrimiento humano asociado con estos problemas de pobreza material y a la mala salud. A continuación detallamos algunos de los señalados por Rengel (2015:87).

1.3.1. En el área socioeconómica y medioambiental podemos destacar que puede contribuir a realizar algunos cambios:

- 1.3.1.1. Las computadoras y dispositivos de visualización serán más baratos, accesibles para todas las personas.
- 1.3.1.2. Los productos de alta tecnología puede permitir a la gente a vivir con mucho menos impacto ambiental, mayor aprovechamiento energía solar con mejor sostenibilidad energética y económica.
- 1.3.1.3. Se pueden fabricar Invernaderos baratos que pueden economizar gasto de agua optimizar el uso de la tierra y los alimentos.
- 1.3.1.4. Los espacios de vida pueden mejorar mucho pues las áreas de fabricación pueden ser reducidas, así como los residuos generados, con menor necesidad de extracción de minerales.
- 1.3.1.5. Se podrá limitar el número de fábricas de producción cuya actividad contamina de forma grave al medioambiente. Las actividades contaminantes podrán ser más compactas y controladas.
- 1.3.1.6. La fabricación más económica dará mejoras a un coste relativamente bajo.
- 1.3.1.7. El uso de energía solar almacenable reducirá emisiones de ceniza, hollín, hidrocarburo, NOx, CO2 y petróleo.
- 1.3.1.8. En aquellas zonas que no disponen de una infraestructura tecnológica, la fabricación molecular auto-contenida permitiría el desarrollo rápido de tecnología que no daña al medioambiente, con un coste muy bajo.

1.3.2. En el área sociosanitaria podemos destacar algunas posibilidades de la nanotecnología:

- 1.3.2.1. Las herramientas de investigación y la práctica de la medicina serán menos costosas, más potentes y eficientes.
- 1.3.2.2. Se están creando pequeños Biosensores nanométricos, chips y dispositivos implantables que permitirán un diagnóstico y tratamiento continuo y un control semi-automático. La Salud podrá mejorar y abre posibilidades a mejorar la calidad de vida.
- 1.3.2.3. Se acelerará el proceso de diagnóstico, posibilitando detener y prevenir algunas enfermedades y complicaciones.
- 1.3.2.4. Facilitará la terapia génica y nuevas terapias de Nanocirugía.

1.4. Riesgos o perjuicios de la nanotecnología

1.4.1. Impactos en la sociedad

- 1.4.1.1. Importantes cambios socio-políticos y en la economía pueden suceder debido a una producción poco costosa, con duplicidad de diseños. No hay que desdeñar el desequilibrio socioeconómico y político que puede generarse por un cambio global tecnológico y energético. Vivimos en una carrera de patentes que se cuentan por miles en nanoproductos y que pueden tener un impacto económico mundial. Puede haber un fuerte mercado negro de componentes y surgir la delincuencia en esta fase de fuerte competitividad, elevado número de patentes e inversión pública y privada.
- 1.4.1.2. La capacidad del ser humano para utilizar los avances y progresos científicos para el uso bélico, criminal y terrorista ya son historia en nuestra sociedad, por lo que este mundo tecnológico que se abre ante nuestros ojos, supone una nueva oportunidad para hacerlo. La nanotecnología puede proporcionar un extremado poder militar que podría conducir a una carrera armamentista peligrosamente inestable.
- 1.4.1.3. Daños ambientales o riesgos para la salud de los productos no regulados. El daño medioambiental puede suceder, pues los residuos se generan igual que en cualquier proceso productivo, pero los materiales son tan pequeños que no son visibles muchas veces al ojo humano y no son detectados por los dispositivos de detección disponibles actualmente, no hay protocolos fiables para actuar en casos de contingencias en la fabricación de componentes, no conocemos el comportamiento en la naturaleza de muchos de los productos generados y su vida media de degradación., etc.
- 1.4.1.4. Las nanoesferas de carbono disueltas en agua, simulando un grado de contaminación ambiental común, dañan el cerebro de los peces y provocan mortandad en pulgas de agua, lo cual significa una evidencia ya de repercusión en la naturaleza que no se conoce la repercusión que puede tener en el ser humano.

1.4.2. Impactos a la salud

- 1.4.2.1. El dióxido de titanio y el óxido de zinc (nanopartículas bloqueadores solares de cosméticos y pantallas solares) producen radicales libres en las células de la piel, dañando el ADN. (1997 Universidad de Oxford y la Universidad de Montreal).
- 1.4.2.2. Hay nanopartículas se acumulan en los órganos de animales de laboratorio (hígado y pulmones). Origen posible de tumores y daño del ADN. Los nanotubos, similares a finísimas agujas, podrían clavarse en los pulmones con efectos parecidos al que provoca el asbesto. (2002, el Centro de Nanotecnología Biológica y Ambiental de la Universidad de Rice, Houston).

- 1.4.2.3. El tamaño de las nanopartículas, más que el material que las constituye, es un riesgo en sí mismo porque aumenta exponencialmente su potencial catalítico y el sistema inmunológico no las detecta. (En 2003 en un estudio solicitado por el Grupo ETC, el tóxico-patólogo Vyvyan Howard).
- 1.4.2.4. Se ha detectado paso de nanopartículas de la madre al feto por medio de la placenta, por lo que no se puede descartar la posibilidad de nanotoxicidad. (Howard, 2004).

2. Nanoética

Van Rensselaer Potter decía que: “una ciencia desligada de la ética se deshumaniza”, por ello Potter defendió un saber que equilibrara los conocimientos de la ciencia y su repercusión en temas morales y éticos y los valores humanos. El dijo “elegí *bios* para representar al conocimiento biológico, la ciencia de los sistemas vivos; y elegí *ética* para representar el conocimiento de los sistemas de valores humanos” (Potter, 1975, 2.297).

El caso que nos ocupa se trata de una Ética aplicada al desarrollo nano-tecnológico, que es relativamente reciente y de una gran complejidad interdisciplinaria, intersocial e interjurídica del fenómeno (Buxó, Casado, 2010). Su abordaje bioético tiene un fuerte componente de valoración de riesgo, no solo en el ambiente laboral, sino por la Bioseguridad, hoy y en el futuro de las nuevas generaciones, al no conocer bien el ciclo vital de los componentes y residuos. En la Escala nano las propiedades de los materiales se comportan de otra forma y también es diferente su capacidad de toxicidad. En el momento actual existe una dificultad para establecer y controlar la trazabilidad, la biocompatibilidad y la biodegradación de los materiales inertes y los nanoproductos. Toda esta falta de información y de protocolos estandarizados se agrava por la desconexión de centros de investigación y de producción de nanoproductos y nanomateriales.

La nanotecnología es una plataforma tecnológica sin precedentes que afectan a múltiples áreas y sistemas productivos, ha generado múltiples patentes, con más de seiscientos productos (química, la física, la biología molecular, la ciencia de los materiales, la optoelectrónica, la informática y las ciencias cognitivas y medicina, la domótica, industria de la automoción, telecomunicaciones y un largo etc.). “*la nanoescala es el punto de encuentro de físicos, químicos, biólogos, médicos, e ingenieros*” (Cremades y Maestre, 2010, p. 21) y tendríamos que agregar que cada vez más de bioeticistas, filósofos, teólogos, abogados, politólogos, sociólogos, entre otros.

La investigación nanotecnológica, está financiada fuertemente con fondos públicos y privados, que implican importantes intereses industriales y comerciales, existen proyectos de investigación multipropósito en más de sesenta países y existe un riesgo que se puedan generar desequilibrios económicos en nuestro sistema globalizado con repercusiones justicia social y las desigualdades socioeconómicas.

En su regulación y definición de objetivos existen varios agentes intervinientes implicados de varios sectores entre los que destacan: la industria, la investigación, poderes públicos, los medios de comunicación y la ciudadanía. Y en esa confluencia de intereses se establece o se debe establecer un escenario bioético colaborativo. Para garantizar el nanodiálogo y su regulación normativa debe de existir debates informados y transparencia en todo el proceso. Hay que decir que quizá sea la primera vez que expertos bioeticistas como Buxó y Casado (Cfr.

2010:37) o también Ortwin y Roco (Cfr. 2006: 14) han descrito de forma precoz y completa, recomendaciones para todos los sectores implicados para que el debate ético vaya en paralelo con el desarrollo científico. La importancia de las recomendaciones hace poco operativo su resumen aquí y recomendamos su lectura. Se ha conseguido, como se hubiese deseado con otras ramas de las ciencias y de la ética, que existan Programas de la Unión Europea donde ya se dedica un área propia para la nanotecnología y un apartado, con financiación específica, denominado "nanoética" (Campillo, 2014: 63).

En el libro bioética y nanotecnología de (Casado, 2010) y en el documento "Nanotecnología y Bioética Global" del Grupo de Opinión del Observatorio de Bioética y Derecho coordinado por los citados Buxó y Casado, (Cfr. 2010) podemos encontrar aspectos diferentes además de gran número de recomendaciones para los sectores intervinientes y el énfasis común en la bioseguridad y es que además, la nanotecnología y sus desarrollos posteriores pueden tener un impacto en temas más antropológicos como en identidad y naturaleza humana, *"estas tecnologías poseen o prometen llegar a poseer, junto con la robótica y la ingeniería genética, la capacidad para cambiar significativamente los rasgos definitorios de la especie humana en un plazo imprevisible pero no demasiado lejano"*. Se incluyen la posibilidad de alargamiento de la vida, aumento de las capacidades cognitivas del cerebro humano, a veces con computarización cerebral, etc. Con esta orientación entroncamos con teorías transhumanistas (Ursúa, 2010:311) en un intento de sobrepasar los límites naturales del ser humano a base de tecnología. Es muy difícil reflexionar sobre un abanico de posibilidades que son posibles. El debate ético se hace muy difícil, muchas veces basados en futuribles hechos ya que se pueden realizar algunos de los proyectos de innovación tecnológica. Una profecía tecnológica que parecía posible ha terminado materializándose, probablemente es porque el ser humano pronostica futuras tecnologías, cuando su mente ya puede asumirlas como posibles. Algunos autores como Fukuyama (2002) y Postigo (2009:267) se han pronunciado en una posición crítica a este desarrollo transhumanista que no encuentra inconvenientes a la hora de plantearse una era posthumanista, porque la autonomía moral del individuo estaría en entredicho, ya que se sometería a intereses sociales, políticos o económicos (Habermas, 2003). Una nueva clase de procesos y aplicaciones pueden amenazar la identidad humana y la mente, acelerar el ritmo de modernización más allá de aquello con lo que las sociedades humanas pueden hacer frente, y transformar nuestro entorno en direcciones que nadie puede predecir de forma realista. Se pueden contemplar nuevas consideraciones éticas sobre la sostenibilidad de investigación en nanotecnología en aplicaciones que no fueron perseguidos originalmente por la comunidad de ingeniería.

Lo que parece poco práctico y quizá perjudica el debate es radicalizar las expectativas en ambos sentidos: bien pensando que la nanotecnología nos va a proporcionar "un mundo feliz" o por el contrario pensar que con su desarrollo tendrán lugar sucesos apocalípticos o de gran perjuicio o amenaza para el ser humano. Existe la posibilidad de reflexionar de forma genérica o bien de particularizar en función de determinados desarrollos, en esa diatriba se sitúa la producción ética.

Una cuestión de calado bioético es la repercusión que puede tener a nivel de privacidad por las nuevas fuentes y formas de almacenamiento de información, su informatización y miniaturización de la misma y de los sistemas de almacenaje.

21. Modelo especulativo de Roco

Un enfoque diferente y desde le punto de vista práctico, es el que encontramos en el libro blanco sobre nanotecnología publicado por la fundación “The International Risk Governance Council” (Ortwin, Roco, 2006) que proponen un marco conceptual para la gestión de riesgos de la nanotecnología y analiza su situación actual en el contexto del marco regulador, la situación internacional, el nivel de interfaz científico-normativa y otros aspectos. Entre sus contenidos cabe destacar el modelo especulativo de Roco en el que se dividen las nanotecnologías en dos marcos conceptuales; el primero que contiene las Nanotecnologías de primera generación y el segundo marco conceptual en el que engloba las de segunda, tercera y cuarta generación. Dada la importancia de dicho modelo me he permitido pasar a resumirlo a continuación;

2.1.1. Diferentes generaciones, según tipos de nanotecnologías:

- 2.1.1.1 Nanotecnologías de primera generación; que corresponden a nanoestructuras pasivas porque el comportamiento pasivo del material se supone que es constante con el tiempo. (P. e.: la nanoplata)
- 2.1.1.2. Nanotecnologías de segunda generación; están activos, nanoestructuras que cambian su comportamiento de acuerdo con su medio ambiente. (Oncología).
- 2.1.1.3. Nanotecnologías tercera generación; corresponden a nanosistemas integrados. (Órganos artificiales construidos de la nanoescala).
- 2.1.1.4. Nanotecnologías de cuarta generación; se anticipan ser nanosistemas moleculares heterogéneos (cada molécula en el nanosistema tiene una estructura específica y juega un papel diferente. Incluiría macromoléculas ‘de diseño’, máquinas nanoescala y las interfaces entre los seres humanos y máquinas en el tejido nervioso y niveles de sistema.

2.1.2. En función de esta clasificación y diferente generación de nanomateriales o nanoproducidos se describen diferentes amenazas, posibles riesgos:

2.1.2.1. Marco conceptual 1. Primera Generación - (función constante) nanoestructuras pasivas inertes (por ejemplo recubrimientos nanoestructurados. Tienen un comportamiento estable y propiedades constantes durante su uso. El Potencial riesgo: por ejemplo, nanopartículas en cosméticos o alimentos con producción a gran escala y las altas tasas de exposición.

2.1.2.2. Marco conceptual 2:

2.1.2.2.1. Segunda Generación – son activos (evolución nanoestructuras de función) por ejemplo, materiales nanoestructurados y sensores reactivos dirigidas terapias contra el cáncer. Tienen un comportamiento cambiante durante su acción, variable y potencialmente inestable. Pueden ocurrir cambios sucesivos en el estado (ya sea deseado o como una reacción imprevista para el medio ambiente externo), por ejemplo, nanobiodispositivos en

el cuerpo humano; pesticidas diseñados para reaccionar a diferentes condiciones, etc.

2.1.2.2.2. Tercera Generación - nanosistemas integrados (sistemas de nanosistemas), por ejemplo órganos artificiales construidos a partir de la nanoescala; nanobiosistemas evolutivos. Las nanoestructuras pasivas y / o activas están integrados en los sistemas de uso de la síntesis de nanoescala y montaje de técnicas, se desarrollan sobre la base de la convergencia de la nanotecnología, la biotecnología, la informática y las ciencias cognitivas. Su comportamiento es emergente se puede observar debido a la complejidad de los sistemas con muchos componentes y tipos de interacciones, por ejemplo, virus y bacterias modificadas; comportamiento emergente de los sistemas de nanoescala.

2.1.2.2.3. Cuarta Generación - nanosistemas moleculares heterogéneos, por ejemplo terapias genéticas nanoescala; moléculas diseñadas para el autoensamblaje. Su comportamiento e el propio de nanosistemas de ingeniería y arquitecturas se crean a partir de moléculas individuales o componentes supramoleculares cada uno de los cuales tienen una estructura específica y están diseñados para desempeñar una determinada papel. Fundamentalmente nuevas funciones y procesos comienzan a surgir con el comportamiento de las aplicaciones que se basa en el de los sistemas biológicos, por ejemplo, cambios en los biosistemas; sistemas de información intrusivos.

2.1.3. Estrategias y medidas diferentes recomendadas:

2.1.3.1. En marco conceptual 1 se caracteriza porque se está tratando de desarrollar conocimientos sobre las propiedades de los nanomateriales y sus implicaciones para que los riesgos pueden ser caracterizados a nivel internacional. Los debates se centran en el diseño e implementación de las mejores prácticas y políticas reguladoras, ver y controlar potenciales riesgos sanitarios y medioambientales antes de que se materialicen en mayor cantidad. Las Estrategias pueden ir en relación al establecimiento de un órgano internacional revisado de las pruebas relacionadas con los experimentos toxicológicos y ecotoxicológicos, y simulación y seguimiento de la exposición real.

2.1.3.2. En el marco conceptual 2, tenemos unos problemas, amenazas y estrategias diferentes, las partes interesadas debaten sobre la conveniencia social de las innovaciones previstas, en el proceso y la velocidad de la modernización técnica, los cambios en la interfaz entre humanos, máquinas y productos, los límites éticos de la intervención en el medio ambiente y los sistemas vivos (como los posibles cambios en el desarrollo humano y la imposibilidad de predecir transformaciones a el entorno humano). Los componentes a nanoescala y nanosistemas del marco 2 dan lugar a la incertidumbre en los resultados. Las estrategias se basan en lograr la comprensión, participar en el debate sobre la responsabilidad ética y social para las personas y las instituciones afectadas y

fortalecer la capacidad institucional para abordar los riesgos inesperados. Los Escenarios proyectados necesitan ser explorados. Un reto importante es que las decisiones deben llevarse a cabo antes de que la mayoría de los procesos y productos son conocidos.

La principal preocupación de marco 2 es que las implicaciones sociales de las consecuencias inesperadas (o *“esperados pero no preparadas para”*) y la distribución no equitativa de los beneficios pueden crear tensiones si no se aborda adecuadamente. La mayor complejidad, ambigüedad, dinamismo y la multifuncionalidad de las nanoestructuras pueden dar lugar a la incertidumbre dentro de sus respectivos sistemas.

Hemos hecho un recorrido por los orígenes y desarrollo de la nanotecnología, descubriendo que las aplicaciones se multiplican de forma exponencial, se trata de una plataforma tecnológica con una gran aplicabilidad en todos los sectores de la industria, medicina, robótica, ingeniería, domótica, etc.. Debemos tener prudencia a la hora de valorar los éxitos y los avances comunicados, pues existen multitud de interrogantes de temas medioambientales, bioseguridad, sobre posibles desequilibrios socioeconómicos, multitud de intereses comerciales, fuertes inversiones y una necesidad de no silenciar los intereses del ser humano, fomentando lo que se ha venido a denominar nanodiálogo. Existen multitud de recomendaciones por parte de bioeticistas sobre las directrices que deben gobernar el proceso de investigación, fabricación, experimentación, comercialización, etc. Nunca antes se ha contado con tan número de directrices, quizá porque se vislumbra un cambio tecnológico y probablemente cultural. Esperamos que compartiendo y difundiendo estas reflexiones se pueda favorecer la valoración juiciosa y prudente del mundo se abre ante nuestro ojos. ■

Bibliografía

Libros

DREXLER, Eric. *Engines of Creation. The Coming Era of Nanotechnology*. New York: Anchor Books, 1986

FUKUYAMA, Francis. *Our Posthuman Future: Consequences of the Biotechnology Revolution*, New York: Farrar, Straus and Giroux, 2002.

HABERMAS, Jürgen. *The future of human nature*, 2003.

Contribuciones en libros

BUXÓ, María Jesús. “Nanodiálogo: la comunicación y la implicación pública en los avances nano- biotecnológicos”. En: CASADO, María (ed.). *Bioética y nanotecnología*. Navarra: Thomson Civitas, 2010.

CASADO María. Introducción. En: CASADO, María (ed.). *Bioética y nanotecnología*. Navarra: Thomson Civitas, 2010.

CREMADES, Ana y MAESTRE, David. “Nanociencia y nanotecnología”. En: CASADO, María (ed.). *Bioética y nanotecnología*. Navarra: Thomson Civitas, 2010.

Artículos

BINNIG, Gerd y ROHRER, Heinrich. “Scanning tunneling microscopy”. *IBM Journal of Research and Development* 30, 1986, p. 4.

BROWNE, Malcolm. “2 Researchers Spell ‘I.B.M.’ Atom by Atom”. *The New York Times*. Retrieved 5 February, 2012 (5 April 1990).

BUXÓ, María Jesús y CASADO, María. “Nanotecnología y Bioética Global”. *Documento del Grupo de Opinión del Observatori de Bioética i Dret. Revista de bioética y derecho* 20, 2010.

CAMPILLO, Beatriz. “Bioética y nanotecnología”. *Revista Lasallista de Investigación* Vol. 11 No. 1, 214, p.63-69.

FEYNMAN, Richard. “There’s Plenty of Room at the Bottom”. *Caltech Engineering and Science*. Volume 23:5, February 1960, p. 22-36. [Consulta: 14 abril 2015]. <<http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>>

GEIM, Andre y NOVOSELOV, Konstantin. "The Rise of Graphene". *Nature Materials* 6, 2007, p. 183-191.

IJIMA, Sumio. "Helical microtubules of graphitic carbon". *Nature* 354, 1991, p. 56-58.

KROTO, Harry, SMALLEY, Richard y CURL, Robert. *Nature* 318, 1985, p. 1

POSTIGO, Elena. "Transhumanismo y post-humano: principios teóricos e implicaciones bioéticas". *Medicina e Morale* 2, 2009, p. 267-282.

POTTER, Van Rensselaer. "Humility with responsibility: a Bioethics for oncologists: presidential address". *Cancer Research*, 1975, p. 35: 2.297, 2.299.

SHERMAN, Wendy y SEEMAN, Nadrian. "A precisely controlled DNA biped walking device". *Nano Letters*, 4 (7), 2004, p. 1203-1207.

TANIGUCHI, Norio, "On the Basic Concept of 'NanoTechnology'", *Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering*, 1974, p. 18-23.

URSÚA, Nicanor. "¿Tendrá la "Convergencia de Tecnologías" (CT) y la "Mejora Técnica del Ser Humano" un impacto similar al darwinismo? implicaciones y consideraciones filosóficas". *Endoxa* 24, 2010, p. 311-329.

WINFREE, Erik, LIU, Furong, WENZLER, Lisa y SEEMAN, Nadrian. "Design and self-assembly of two-dimensional DNA crystals". *Nature* 394 (6693), 1998, p. 539-544.

Recursos electrónicos

BUXO, M.J. Y CASADO, M. (coords.) 2010. Grupo de Opinión del Observatori de Bioètica i Dret Parc Científic de Barcelona. Nanotecnologia y bioética global. [en línea] [Consulta: 5 de mayo de 2015]. <<http://www.publicacions.ub.edu/refs/observatoriBioEticaDret/documents/07893.pdf>>

ORTWIN, Renn y ROCO, Mike. *The International Risk Governance Council. Nanotechnology Risk Governance*. [en línea] [Consulta: 5/05/2015]. <http://www.irgc.org/IMG/pdf/IRGC_white_paper_2_PDF_final_version-2.pdf>

RENGEL, Mateo. *Nanotecnología, Riesgos y Beneficios*. [en línea] [Consulta: 20/04/2015]. <[http://www.monografias.com/trabajos87/nanotecnologia-riesgos-y-beneficios/nanotecnologia-riesgos-y-beneficios.shtml](http://www.monografias.com/trabajos87/nanotecnologia-riesgos-y-beneficios/nanotecnologia-riesgos-y-beneficios/nanotecnologia-riesgos-y-beneficios.shtml)>

The oficial web site of Nobel prize [Consulta: 15/04/2015]. <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2010/>

Nanotecnología: historia [en línea] [Consulta: 17 de abril de 2015]. <http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/historia_nanotecnologia.htm>