

NANOTECNOLOGÍA, SALUD Y POBREZA. ¿CUÁLES SON LAS EXPECTATIVAS?

GUILLERMO FOLADORI¹
Universidad Autónoma de Zacatecas

Las nanotecnologías prometen revolucionar el mundo. Algunos consideran que la aplicación de las nanotecnologías a la medicina, junto con energías baratas y mecanismos de purificación del agua, es una de las áreas más promisorias para combatir la pobreza. Los sorprendentes avances en el diagnóstico de enfermedades, en el procedimiento de elaboración de vacunas, en las drogas dirigidas específicamente a las células u órganos afectados son algunas de las esperanzas. Sin embargo, no siempre los problemas sociales pueden ser resueltos técnicamente. El análisis de las implicaciones sociales de las nanotecnologías en el actual contexto mundial de inequidad y concentración de la riqueza levanta la duda de si no ayudarán a profundizar la pobreza, la desigualdad y la dependencia tecnológica.

1. NANOTECNOLOGÍAS

La nanotecnología es la manipulación de materiales a escala atómica o molecular. Las nanotecnologías (que existen en diversos campos) trabajan con materiales que van del rango de 1 a 100 nanómetros. Un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro. Es un tamaño que sólo puede ser captado con microscopios atómicos. Un pelo humano, por ejemplo, puede tener 100 000 nanómetros de grosor. Un virus tiene entre 20 y 300 nanómetros. Las bacterias son mucho más grandes. En 1959 el reconocido físico Richard Feynman dio una conferencia para la American Physical Society y el California Institute of Technology titulada *There is plenty of*

¹ Profesor del Doctorado en Estudios del Desarrollo. Universidad Autónoma de Zacatecas. fola@estudiosdeldesarrollo.net. Miembro de la International Nanotechnology & Society Network <http://www.nanoandsociety.com/>.

room at the bottom, en la cual dijo que los principios de la física no impiden manipular cosas átomo por átomo, que no se estaría violando ninguna ley física, y que, aunque teóricamente fuese factible, el problema es práctico, ya que somos demasiado grandes para realizarlo (Feynman, 1961). Pero, este problema práctico comenzó a solucionarse cuando, en 1981, Gerd Binnig y Heinrich Rohrer inventaron el Scanning Tunnel Microscope (STM) que permite “ver” la imagen de los átomos. El Atomic Force Microscope, desarrollado posteriormente, permitió ver imágenes de materiales que el STM no permitía. Luego fue descubierto que con los microscopios de tunelación era posible mover átomos.

Las nanociencias estudian las propiedades de los átomos y moléculas, y las nanotecnologías pretenden combinar átomos y moléculas para construir partículas (nanopartículas) que tengan determinadas utilidades. En lo que va de la evolución humana hemos estado acostumbrados a dividir lo grande para construir lo pequeño. Se arrasa una mina para sacar el cobre. Así se utiliza una gran cantidad de material para obtener algo comparativamente muy pequeño. Ahora la nanotecnología se propone el camino inverso: juntar átomos para crear cosas mayores. En lugar de ir de lo grande a lo pequeño (proceso *top-down*) se va de lo pequeño a lo grande (proceso *bottom up*).

Este camino de lo pequeño a lo grande permite una producción exacta de lo que se quiere, al mismo tiempo que no implica desperdicio en el proceso de producción. Pero las ventajas son mucho mayores. Los materiales a escala atómica presentan propiedades físicas diferentes a las que tienen en el tamaño con que aparecen normalmente en la naturaleza. Un material, como el carbono (el grafito de los lápices de escribir), manipulado molécula a molécula puede llegar a ser más duro que un diamante, puede pesar varias veces menos que el acero, puede tener una conductividad eléctrica prácticamente perfecta, sin pérdidas por la transmisión-distancia. Los materiales pueden tener propiedades magnéticas, ópticas, reactivas diferentes a lo que se conoce en los tamaños a que estamos acostumbrados. Estas nuevas propiedades pueden ser explotadas en cualquier rama de la producción. Por este motivo las nanotecnologías están llamadas a ser la base de la próxima revolución industrial, ya en curso. De hecho, existen cientos de nanopartículas incorporadas a diversos productos en el mercado. Según el *Nanotech Report* entre los primeros comercializados en 2004 se

encuentran: calzado térmico que mantiene la temperatura constante (Aspen Aeogels), colchones que repelen sudor y polvo (Simmons Bedding Co.), palos de golf más resistentes y flexibles (Maruman & Co.), cosméticos personales ajustados a edad, raza, sexo, tipo de piel y actividad física (Bionova), vestidos para heridos y quemados que evitan las infecciones (Westaim Corporation), desinfectantes y limpiadores que se aplican a aviones, barcos, submarinos, etc. (EnviroSystems), spray que repele agua y suciedad, utilizado en la industria de la construcción (BASF), tratamiento a los vidrios para repeler el agua, la nieve, insectos, etc. (Nanofilm), crema contra el dolor muscular (CNBC) y adhesivos dentales que fijan mejor las coronas (3M ESPE) (Forbes, 2004).

2. NANOMEDICINA

La aplicación de las nanotecnologías al campo médico (nanomedicina) es muy promisoría. Hay tres áreas donde su desarrollo es inminente o ya está sucediendo. Una es el diagnóstico. Los diagnósticos de muchas enfermedades son caros, demoran horas o días y requieren de un desplazamiento del paciente del consultorio del médico al laboratorio. La clave de los nuevos mecanismos de diagnóstico utilizando nanotecnología está en sensores a escala nano que pueden estar adheridos o dentro del propio cuerpo, en la vestimenta, o en el ambiente, dado el caso. Un proyecto de investigación patrocinado por la DARPA (*Defense Advance Research Projects Agency*) de los Estados Unidos, busca elaborar un biosensor que identifique infecciones bacteriológicas (armas biológicas). Estos dispositivos serían incorporados a la ropa, de manera que el soldado sabría, antes de los 20 minutos, si estuvo en contacto, por ejemplo, con ántrax (Arabe, 2002). Este tipo de sensores ya se está introduciendo en el mercado.

Nanosphere reporta que entre el periodo de 2004 y 2005 tendrá un sistema de detección en el mercado que emplea Nanosensores para detectar la presencia de ántrax, viruela, y una variedad de enfermedades, diez veces más rápido que cualquier cosa que esté hoy en el mercado, y 100.000 veces más exacto.

Entre las compañías trabajando con Nanosensores para la detección de enfermedades está Nanosphere, Agilent, Motorola, SorroMed, Molecular Nanosystems, Cantion, and Scienion (Uldrich & Newberry, tomado de NanoNews-Now, 2003).

Hay muchos otros tipos de sensores. Los laboratorios en un chip (*lab-on-a-chip*) consisten en dispositivos en nanoescala que navegan por la sangre del paciente como si fuesen virus. Son capaces de seleccionar minúsculas partículas de líquidos o gases y analizarlos. Son verdaderos laboratorios que permiten el análisis de grandes cantidades de componentes simultáneamente. Con ello desaparecerían muchos de los laboratorios y sus empleados, el enfermo estaría siendo monitoreado en tiempo real, y el médico tendría un histórico más detallado de lo que está sucediendo con su paciente. Otra ventaja de este sistema híbrido de sensoramiento es que detectaría modificaciones en los biomarcadores antes de que el propio cuerpo lo haga. Una forma de “adelantarse” a la enfermedad y poder atacarla antes, inclusive, de sus primeras manifestaciones.

Otra área de la nanomedicina muy promisoría es la de las drogas. No se trata de crear nuevas drogas. Lo que está en juego es la posibilidad de dirigir las mismas drogas que hoy en día se aplican directamente a las células afectadas, y en dosis más potentes. Es decir, estamos hablando de un revolucionario sistema de entrega de droga. Este mecanismo tiene dos grandes ventajas. La primera es que evita los efectos nocivos, derivados de que la droga entre en contacto con células o tejidos sanos que no la necesitan. La segunda es que al ir directamente a su objetivo se puede incrementar la dosis.

El asma también se está beneficiando de la nanotec. Un nuevo dispositivo en nanoescala, comparable a la bola Whiffle puede encapsular una droga para el asma y ayudar a que llegue a los pulmones más rápidamente y más efectivamente (Uldrich & Newberry, tomado de NanoNews-Now, 2003).

Una variante del sistema de entrega de drogas al lugar exacto son las drogas que sólo actúan cuando son necesarias, llamadas “drogas inteligentes”. Una molécula de droga puede soltar un determinado antibiótico solamente en presencia de una infección; si la infección no existe permanece encapsulada. Esto podría representar un gran avance, ya que el principal talón de Aquiles de los antibióticos es que su uso indiscriminado ha llevado al surgimiento de las cepas resistentes, además

de que siempre presentan algún tipo de toxicidad al organismo (Freitas, 2003).

Si se piensa en la combinación de la primera área de investigación, los sensores, junto a la segunda, tenemos que sería posible administrar la droga necesaria al paciente en los primerísimos momentos de manifestación de la enfermedad, antes aún de que el cuerpo lo detecte, y con una fuerza varias veces mayor a la que es posible hoy en día. Tiempo y fuerza se combinan.

Otra área de investigación altamente promisorio son los implantes y las prótesis. Desde la recuperación de huesos, dientes y prácticamente todo tipo de tejido. La nanotecnología ayuda de diversas formas. Por un lado, mediante nanoestructuras biológicas, que consisten en colocar material biológico en un cultivo que hace que tome la forma de la parte del cuerpo que se pretende mejorar, como un determinado hueso; con ello el hueso mismo se recuperaría rápidamente. O mediante nanoestructuras biomiméticas que consisten en una estructura química predefinida, como un conjunto de moléculas, o un cristal donde el material se autoreproduce. También se utilizan materiales nanoestructurados en órganos sensoriales artificiales, como ojos electrónicos o nervios, aunque muchos de estos proyectos están aún en ciernes (Arabe, 2002).

Otra compañía, Ångström Medica, está desarrollando nanocristales de varios tamaños, formas y pureza, que pueden mezclarse con las propias células del cuerpo para ayudar a recrecer los huesos (Uldrich & Newberry, tomado de NanoNews-Now, 2003).

La combinación de las nanotecnologías con la biomedicina no solamente es promisorio en cuanto a las nuevas técnicas, también permite la individualización del tratamiento. La base de esto está en lo que se conoce como farmacogenética, el procedimiento de ligar una determinada medicina a los genes del paciente. La farmacogenética supone tanto el análisis del diagnóstico genético del paciente para determinar cuáles son las predisposiciones a las enfermedades, como también analizar qué drogas pueden hacer mejor efecto que otras, permitiendo una atención individualizada y evitando efectos negativos colaterales. Las consecuencias podrían potenciar práctica y mercantilmente determinadas drogas, que usadas de manera masiva no tienen el resultado esperado.

Muchas drogas que van a las pruebas clínicas e inclusive tienen la aprobación de la FDA no son exitosas en el mercado o son rechazadas debido a varias respuestas (inclusive la muerte) por los genotipos y fenotipos humanos. Con posibilidades informáticas rápidas y de bajo costo, junto con alta velocidad y masivas bases de datos de respuesta, las medicaciones y tratamientos serán individualizados para evitar contra reacciones y para optimizar los tratamientos (Varga, B. tomado de NanoNews-Now, 2003).

El camino de las medicinas personalizadas rompe completamente con la historia de más de medio siglo de los fármacos de uso masivo.

3. EL NEGOCIO DE LA NANOMEDICINA

Las expectativas financieras de la nanomedicina son aún inciertas. Es claro que nuevas terapias, dispositivos y medicinas crearán nuevos mercados. Sin embargo, el problema actual es que las principales investigaciones en nanomedicina tienen que ver, como anotamos antes, con la mejor entrega de drogas, los implantes y el diagnóstico. En cualquiera de los tres casos no están de por medio nuevas patentes, que es el objetivo de las corporaciones farmacéuticas. Esta es una de las principales razones por las cuales un informe de la LuxResearch, una empresa dedicada al estudio de la economía y finanzas de las nanotecnologías, sugiere que las grandes corporaciones farmacéuticas están perdiendo la oportunidad de las nanotecnologías (LuxResearch, 2004). Pero esto puede cambiar repentinamente.

Tal vez el efecto más impactante sobre los mercados que no proviene de “exactamente” nuevos productos sino de su manipulación nanotecnológica sean dos: drogas que no pasaban anteriormente las pruebas pueda ahora hacerlo; y, drogas cuya patente se ha vencido podrían ser patentadas como nuevas.

El proceso de producción de una droga lleva muchos años, y los costos de Investigación y Desarrollo son muy elevados —algunos los estiman en más de 500 millones de dólares—. Además, en las últimas décadas el tiempo de desarrollo de una nueva droga (fases pre clínica, clínica y de aprobación) creció significativamente de algo más de 8 años en los sesenta a más de 14 años en los noventa.

El tiempo de desarrollo de una droga era de 8.1 años en los sesentas para las fases preclínica, clínica y su aprobación. En los setentas era de 11.6 años, en los ochenta fue de 14.2 años, y en los noventas de 14.1 años (Flynn & Wei, 2005, 48).

Grabowski & Vernon (1994) llegan a la conclusión de que sólo las principales drogas en circulación permiten recuperar los costos y ganancia de muchas otras que, por sí mismas, darían pérdida. Muchas drogas no llegan a ser registradas porque, a pesar de haber sido probada su eficiencia, su toxicidad implica efectos secundarios que no pasan las pruebas;

Las compañías farmacéuticas debieran ser capaces de recuperar parte del su dinero en drogas que han sido probadas efectivas, pero que fallaron en su aprobación debido a la alta toxicidad. Drogas dirigidas (usando nanocápsulas y nanopartículas) será la tecnología por detrás de esto (Holister, 2003, tomado de NanoNews-Now, 2003).

Como se señala en la cita anterior, los mecanismos de entrega de droga directamente a las células o tejidos afectados podría reducir significativamente la toxicidad por efectos secundarios, reviviendo el camino para muchas investigaciones ya probadas y encajonadas, que ahora podrían pasar las pruebas necesarias para su registro. Por cierto que esta no sería solamente una ventaja para las corporaciones farmacéuticas, también lo sería para el consumidor. Es difícil encontrar una droga que sea efectiva en más del 50% de los pacientes. Existen muchas razones por las cuales un medicamento que es eficiente “en lo general” no cumple con sus objetivos en la mayoría de los casos. Una de estas razones es lo que se conoce como biodisponibilidad (bioavailability), que es la habilidad de la droga para alcanzar el lugar del organismo en que se vuelve efectiva. Esto significa que en muchos casos los pacientes toman medicinas que no le sirven para nada, y que les representa un gasto inútil.

Se estima que la pérdida debido a los problemas de biodisponibilidad cuestan a los consumidores más de \$45 mil millones por año, pero la investigación en nanotecnología ha demostrado que sólo reduciendo los tamaños de las partículas de droga a la nanoescala y así aumentando el área de superficie y la reactividad se puede reducir en gran medida este problema. Una de las cosas más satisfactorias sobre esta idea es que no se necesitan cambios en los pacientes o los practicantes

—un ahorro masivo puede ser realizado simplemente cambiando la manera en que ciertas drogas son manufacturadas (Ratner & Ratner, 2003, tomado de NanoNews-Now, 2003).

Pero, si una ventaja pudiera ser el dar vida a drogas que anteriormente no pudieron pasar los exámenes necesarios, la otra ventaja de la manipulación nanotecnológica de las drogas es ganar nuevas patentes. Las drogas contra el cáncer presentan diversos efectos secundarios. Las drogas vigentes están diseñadas para matar células cancerígenas, pero también pueden matar tejidos sanos. Es el caso del producto Taxol (*Bristol Myers Squibb*), uno de los preferidos para el tratamiento de metástasis en el cáncer de mama. El mercado de este fármaco está en torno de los 3 mil millones de dólares. Las posibilidades terapéuticas y financieras de las nanotecnologías son enormes. En términos terapéuticos la misma droga manipulada en nanoescala y dirigida mediante nanocapsulas directamente a las células afectadas no tiene efectos secundarios y puede ser administrada en dosis más poderosas. En términos financieros se trataría de un producto nuevo, posible de ser patentado y capaz de desplazar del mercado a las drogas vigentes. La competencia en nanoescala para el Taxol ya existe. Se trata del Abraxane, un producto de la *American Pharmaceutical Partners*. La droga (paclitaxel) en nanoescala es encapsulada en albúmina, que es una proteína natural y por lo cual el sistema inmunológico no la detecta, como sí ocurre en muchos casos con el Taxol. La nueva droga fue aprobada por la FDA (*Food and Drug Administration*) de los Estados Unidos en enero de 2004, y las acciones de la *American Pharmaceutical Partners* saltaron un 50% (Wherret & Yelovich, 2005a, 2005b). Pero, este no es el único caso. De hecho cada vez que vence la patente de una droga existe la posibilidad de manipularla en nanoescala y obtener, tal vez, una nueva patente por otros veinte años; aunque esto dependerá de los criterios de la FDA en el caso de los Estados Unidos.

Lo que se vislumbra de la información financiera sobre nanociencia es el hecho de que los laboratorios y corporaciones están detrás de las patentes. Y, aunque esto parezca obvio, significa que no va a cambiar la trayectoria actual de privilegiar las investigaciones en las áreas donde los mercados son jugosos, como en el caso del cáncer; esto es, las enfermedades de los ricos.

4. MÁS ALLÁ DE LOS POSIBLES RIESGOS

La nanomedicina es sin duda un instrumento de gran utilidad para los países pobres y en desarrollo. La revolución de la nanomedicina en los diagnósticos (diagnóstico molecular) significa mecanismos rápidos y baratos, lo cual permite un mejor monitoreo y un tratamiento más rápido de los enfermos; las vacunas recombinantes elaboradas con ingeniería genética evitan la posibilidad de que la propia vacuna provoque la enfermedad. Los nuevos sistemas de vacunas no inyectables facilitan el transporte evitando la refrigeración, los sistemas de entrega de drogas mediante nanodispositivos reducen los efectos colaterales, entre otras muchas ventajas (Juma & Yee-Cheong, 2005; Salamanca-Buentello *et al*, 2005). Pero, es dudoso que estas ventajas puedan ser rápidamente aplicadas en contextos sociales de inequidad y escasas muestras de voluntad política (Invernizzi & Foladori, 2005). Además, como veremos adelante, las propias nanotecnologías generan una serie de implicaciones sociales difícilmente ventajosas para los países en desarrollo.

En otro orden de cosas, es claro que toda tecnología implica riesgos. Las nanopartículas son tan pequeñas que si escapan a la atmósfera pueden penetrar la piel, pueden atravesar la barrera de sangre del cerebro, pueden ser fácilmente inhaladas. Las consecuencias son imprevisibles. En parte porque no existe un tipo, sino muchos tipos de nanopartículas que pueden tener efectos diversos. En parte porque no hay instrumentos ni medidas que permitan evaluar la toxicidad en todos los casos. También porque al desarrollar propiedades físicas y químicas nuevas las nanopartículas bien pueden generar toxicidades desconocidas. La Dra. Eva Oberdörster expuso nueve róbalos a agua contaminada de moléculas de nanocarbono (nano buckyballs) en un porcentaje de 500 partes por mil millones, que es el nivel comparable a los contaminantes que existen en los puertos. Después de 48 horas los peces tuvieron daños cerebrales y modificaciones en biomarcadores pudieron ser detectados en el hígado. Esto significa que las nanopartículas de carbono pudieron penetrar la barrera del cerebro de los peces pero, además, que el organismo como un todo las detectó, afectando al hígado. En otra investigación la misma científica descubrió que la mitad de las pulgas de agua sometidas a nanomoléculas de carbono morían, con lo cual se desestabilizaba toda la cadena trófica. En el año 1997

investigadores de las Universidades de Oxford y de Montreal descubrieron que las nanopartículas de dióxido de titanio y óxido de zinc, que se utilizan en filtros solares que ya están a la venta, promueven los radicales libre en las células de la piel, dañando el ADN. El grupo ETC reúne en un artículo éstos y otros riesgos probados (ETC, 2004).

En principio, a escala nano la materia viva y no viva se confunde. Pero, no es tan seguro que el organismo humano asimile las nanopartículas sin ser afectado. En 2004 el Dr. Vyvyan Howard informó que las nano partículas de oro se pueden mover a través de la placenta, de la madre al feto (ETC, 2004). En el mismo año, científicos en la Universidad de California en San Diego descubrieron que “las nanopartículas de selenide de cadmio (puntos cuánticos) pueden irrumpir en el cuerpo humano ocasionando envenenamiento potencial”. Pueden surgir efectos imprevistos de largo plazo. Dada esta indiferenciación entre lo biótico y lo abiótico, los bionanotecnólogos son entusiastas de la hibridización de implantes, sensores y distribuidores de drogas, pero algunos efectos perjudiciales ya fueron detectados en laboratorio (ETC, 2004).

Más allá de los potenciales y demostrados riesgos a la salud y el medio ambiente, existen riesgos, potencialidades y retos a nivel social. Un informe sobre las tecnologías convergentes (TCs), de las cuales las nanotecnologías son ejemplo paradigmático, realizado a petición de la Comunidad Europea y publicado en 2004, agrupa estos desafíos y potencialidades en cuatro características (Nordmann, 2004).² Según el documento estas características significan oportunidades para solucionar problemas sociales

² “La Comisión Europea y sus Estados Miembros son llamados a reconocer las novedosas potencialidades de las Tecnologías Convergentes (TCs) para avanzar en la Agenda de Lisboa. Amplias inversiones en TCs estimulan la investigación en ciencia y tecnología, fortalecen la competitividad económica y consideran las necesidades de las sociedades Europeas y sus ciudadanos. Debe ser tomada una acción preparatoria para implementar TC como una prioridad temática de investigación, para desarrollar las Tecnologías Convergentes para la Sociedad Europea del Conocimiento como un enfoque específicamente europeo de las CTs, y para establecer una comunidad de TCEKS de investigación. Son estos los principales resultados del Grupo de Expertos de Alto Nivel “Previendo la Nueva Ola Tecnológica”. El grupo de expertos fue constituido en diciembre de 2003 y entregó su reporte en julio de 2004. Los 25 miembros del grupo, –coordinado por Kristine Bruland y con Alfred Nordmann como rapporteur–provenía de una variedad de países y de bases disciplinarias” (Nordmann, 2004).

y beneficiar individuos y crear riqueza, pero también retos y desafíos para la cultura y la tradición, la integridad humana y la autonomía, y para la estabilidad económica y política. En lo que sigue nos interesa analizar estas características en relación con la nanomedicina y, específicamente, con su posible impacto para solucionar los problemas de pobreza y tender a la equidad de la sociedad humana.

La primera característica es la *ubicuidad*. Las TCs podrían producir un ambiente artificial sin que las personas lo perciban, pero con cambios significativos en la relación entre el ser humano y el mundo externo y también al interior de la sociedad. El ejemplo más contundente es el cambio en el sentido de la realidad que los juegos de computadora, la navegación en Internet y el correo electrónico y conversaciones en línea han implicado.

La segunda característica es el *alcance ilimitado*. Las nanotecnologías despiertan el sueño de que absolutamente todo puede ser controlado a nivel molecular y con tecnologías de la información.

La tercera característica es el *mejoramiento del cuerpo y la mente*. La *National Nanotechnology Initiative* de los Estados Unidos, por ejemplo, propone directamente el uso de las nanotecnologías para mejorar el organismo biológico humano, lo cual tiene profundas implicaciones éticas e ideológicas. La propuesta europea es cambiar el artículo de la frase, de *mejorar el cuerpo y la mente* a *mejoras para el cuerpo y la mente*, lo cual tiene implicaciones políticas importantes, aunque quien sabe si la investigación práctica se modifique en algo.

La cuarta característica es la *especificidad*. Y aquí el ejemplo de la nanomedicina es explícito. La especificidad significa la posibilidad de tratamiento individualizado, pero su alcance va más allá de la medicina. Todo el desarrollo del sensoriamiento significa un tratamiento individualizado del entorno en el cual se actúa. Esto es válido para todas las tecnologías aplicadas al medio ambiente.

Si pensamos estas cuatro características en relación con la nanomedicina y con su potencial aplicación para los sectores pobres y países en desarrollo resultan algunas preocupaciones.

Correspondencia entre las principales características de las Tecnologías Convergentes y su presencia en la nanomedicina

Características de las Tecnologías Convergentes	Correspondencia en el caso de la nanomedicina
<i>Ubicuidad.</i> “Cuanto mejor trabaja, menos notaremos nuestra dependencia en ellos o inclusive su presencia” (Nordmann, 2004, 3)	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema de monitoreo en tiempo real puede favorecer el uso de la información médica con fines de segregación al momento del tratamiento, o de diferenciación en los contratos de salud o en los seguros médicos. Además, el paciente aumenta su dependencia tecnológica con la institución médica.
<i>Alcance ilimitado.</i> Las nanotecnologías parecen poder solucionar cualquier cosa	<ul style="list-style-type: none"> • La idea del alcance ilimitado de las nanotecnologías profundiza aún más la división científica del trabajo, tendiendo a una concepción tecnicista de los problemas sociales
<i>Mejoramiento del cuerpo y la mente</i>	<ul style="list-style-type: none"> • El mejoramiento del cuerpo y la mente conducen a posiciones transhumanistas que, lejos de tender a la equidad de la especie humana, tienden a la inequidad.
<i>Especificidad.</i> Las TCs permiten la aplicación individualizada	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué impactos puede tener una tecnología que se basa en la individualización para su aplicación a las enfermedades masivas en los países pobres?

Fuente: La primera columna está basada en Nordmann, (2004). La segunda es de elaboración propia

La ubicuidad de las nanotecnologías en el área de la salud se manifiesta en que la información sobre el estado del paciente está siendo monitoreada en tiempo real y almacenada en los computadores de los laboratorios o instituciones médicas. Sistemas bio-microelectromecánicos (bioMEMS) podrán contener sensores, nano laboratorios de análisis (*lab-on-a-chip*) y hasta realizar actividades a partir de estructuras mecánicas y electrónicas de silicón. Nanorobots multifuncionales podrán, inclusive, monitorear el funcionamiento del cerebro, diagnosticar desórdenes cerebrales, podrán

realizar cirugías a nivel molecular y muchas otras cosas (Bonadio *et al*, 2001). Se trata de grandes ventajas en términos médicos, pero también que el paciente depende biológica y orgánicamente hablando, de la institución médica que lo supervisa. Esto puede tener diversas consecuencias no deseadas. Bajo un sistema de atención privada de la salud, como ocurre en la mayoría del mundo, la institución médica podría, basada en el historial clínico del paciente su ADN y conociendo sus potenciales riesgos de enfermedad, renunciar a su atención, seleccionado sólo aquellos pacientes más “seguros” desde el punto de vista financiero. De la misma forma las compañías aseguradoras podrían exigir o basarse en la información médica para establecer contratos individualizados. Tampoco es menor el hecho de que un sistema de monitoreo que detecta modificaciones en los biomarcadores antes que se manifieste la enfermedad supone que la atención al paciente se anticipa. Supuestamente sería una ventaja para el paciente. Pero se generalizarán exámenes y terapias, muchas de las cuales serían innecesarias, ya que el propio cuerpo se hace cargo de superar la mayoría de los desequilibrios tan pronto surgen indicaciones (Sarewitz y Woodhouse, 2003). Lo que sí es claro es que desde el punto de vista económico la institución médica comienza a cobrar antes. Quién sabe si estos procesos no harán disminuir aún más la inmunidad, y atarán crecientemente a los pacientes al sistema biomédico, algo distante de los intereses de los pobres.

La nanobiotecnología parece tener alcance ilimitado. Pero, más allá de este utopismo, es claro que los avances en la nanomedicina significan práctica e ideológicamente profundizar la división científica del trabajo. La idea que está por detrás de la gran mayoría de las publicaciones especializadas en el tema es cómo las nuevas técnicas solucionan las enfermedades. Es decir, se parte de la base de que la enfermedad es un enemigo que puede ser eliminado con un arma adecuada. Se trata de la visión hegemónica de la moderna biomedicina. No existe, en esta concepción, ninguna relación entre las condiciones sociales que generan la posibilidad de la existencia de las enfermedades y las enfermedades mismas. Para el caso de los países pobres esta ideología conduce a un camino sin salida. En situaciones de extrema pobreza una enfermedad erradicada es fácilmente sustituida por otra (Evans, *et al*, 1994). A pesar de que terapias y medicinas apropiadas pueden ser un alivio para un momento

crítico, la solución de fondo no es nunca técnica. El otro problema ligado a este espíritu de poder ilimitado de la técnica tiene que ver con la división científica del trabajo. En muchos países en desarrollo existen terapias naturales, personas con conocimientos médicos transmitidos por generaciones y prácticas ancestrales. En la medida en que se reifique la técnica, se margina un potencial social histórico que podría ser aprovechado eficazmente, y se agudizará la división social del trabajo, que ya es abismal en los países pobres.

En los Estados Unidos el apoyo público a las nanotecnologías tuvo como uno de los argumentos principales la posibilidad de mejorar el cuerpo y la mente, dando así un impulso inusitado a las ideologías transhumanistas.³ El transhumanismo sugiere que la evolución humana puede y debe continuarse por medios técnicos. La posibilidad de los implantes bio-artificiales conectados con el sistema neurológico permitirán generar verdaderas personas biónicas. Esto se está investigando con explícitos propósitos militares, para crear el soldado imbatible. Tejidos que se auto-reproducen, huesos que se recrían rápidamente, posibilidad de acceder mentalmente a memorias insertas en chips en el propio cuerpo, mecanismos para descansar sin necesidad de dormir, mejoras en las capacidades auditivas, visuales, y en la fuerza física son algunas de las promesas en investigación.

Es claro que recientes avances en nanotecnología pueden impactar significativamente el desarrollo de las interfases máquina-cerebro y dispositivos de neuroprótesis. Estableciendo lazos directos entre el tejido neuronal y las máquinas, estos dispositivos pueden expandir significativamente nuestra habilidad de usar actividad neuronal voluntaria para controlar directamente objetos mecánicos, electrónicos e inclusive virtuales como si fuesen extensiones de nuestros propios cuerpos (Nicoletis, 2001).

A este tipo de “mejoras” del cuerpo y de la mente no tendrá acceso cualquiera. Seguramente no estarán al alcance de los pobres. Pero, el principal problema no es la creación de hombres biónicos, sino las implicaciones ideológicas y políticas relacionadas. El mismo concepto de

³ Sarewitz (2005) señala la paradoja de que a los deportistas se les castigue cuando utilizan químicos para mejorar su desempeño, mientras que se financia la ciencia para descubrir como mejorar el desempeño humano.

“normalidad”, que ya es discutible, puede ajustarse a las nuevas técnicas. Desde el punto de vista médico las diferencias entre lo “normal” y lo patológico están en la base de las terapias. Una vez que la bionanotecnología comience a ser utilizada para “corregir defectos genéticos”, el concepto de normalidad se podría extender a todos aquellos que puedan ser “corregidos” generándose las bases de una nueva discriminación social (Wolbring, 2002). ¿Serán anormales quienes no dispongan del chip que encienda el gen transplantado del murciélago *Glossophaga soricina* que permite la visión ultravioleta?

La nanomedicina tiene como una de sus banderas el tratamiento individualizado. Representa un cambio de la medicina masiva a la medicina individualizada según las características genéticas y hasta características derivadas de una determinada historia de comportamiento físico.⁴

La terapia de fármacos puede ser realmente personalizada: una vez que los patrones individuales de enfermedad son establecidos (e.g. vía tecnología sensorial), el paciente y médico pueden trabajar junto en desarrollar un régimen racional y personalizado de pequeña administración molecular que se esperará que rinda confortables mejoras y mejor control de la enfermedad; esto a su vez bajará el costo de las enfermedades para la sociedad de los Estados Unidos” (Bonadio, 2002, 180).

Esta individualización, que a primera vista sólo puede verse como benéfica, ya ha desatado varias críticas. Seguramente se va a dar una profundización de la brecha entre los que pueden acceder a este tipo de tecnología y lo que no pueden (Sarewitz y Woodhouse, 2003), lo que supone no sólo tener los recursos sino también vivir en un lugar donde se tenga acceso a este tipo de tratamiento; lejos está la gran mayoría de la población mundial. “Hoy hablamos de la “diferenciación digital”, mañana será la “diferenciación de lo nano” (Yonas y Picraux, 2001). Es claro que una tecnología basada en la individualización y en un sofisticado sistema de informática y comunicaciones no se ajusta a las necesidades masivas de los países pobres.

⁴ La marca Bionova produce cosméticos personales, supuestamente ajustados a edad, raza, sexo, tipo de piel y actividad física (Forbes, 2004).

5. CONCLUSIONES

La revolución tecnológica de las nanotecnologías será claramente disruptiva, en el sentido de que va a trastocar toda la economía y sociedad en las próximas décadas. Tomadas aisladamente muchas de las nanotecnologías aplicadas a la medicina se muestran como panaceas para el desarrollo. Pero, que estos avances técnicos se utilicen para mejorar las condiciones de vida de las poblaciones pobres y de los países en desarrollo en general, no es una posibilidad aleatoria, tampoco es un resultado del voluntarismo político.

La visión técnica tiende a considerar a la tecnología como un instrumento neutro, posible de ser utilizado en las más variadas situaciones. Dicho en forma un tanto simplista el razonamiento sería así: *la nanomedicina permite combatir las enfermedades de manera más eficientemente, más barata, sin tanta dependencia con la infraestructura de transporte, de refrigeración, de laboratorios y demás, por ello, correctamente utilizada se convierte en un valioso instrumento para combatir la pobreza.* El razonamiento es elegante y, a primera vista, convincente. Sin embargo, pierde de vista la intrincada relación que existe entre ciencia, tecnología y sociedad. Una revisión histórica demuestra que las cosas no son tan simples. Hay dos elementos que, al considerarlos, rebaten el elegante razonamiento anterior.

El primer elemento tiene que ver con la orientación de la ciencia y la tecnología. Dicho de otra forma, ¿quién decide lo que se investiga y con qué fines se producen, por ejemplo, medicinas?

Los antibióticos y algunas vacunas se expandieron notablemente después de la segunda guerra mundial. Pero, medio siglo después, a comienzos del XXI, el mercado farmacéutico se concentra en Norte América, Japón y Europa, que suman el 23% de la población mundial pero consumen el 80% del mercado mundial de fármacos. Los países pobres no reciben los necesarios fármacos ni vacunas; en parte porque no tienen los recursos para comprarlas, en parte porque no se ha investigado y no existen vacunas o fármacos para las “enfermedades de los pobres”. Esta contradicción entre necesidades e investigación científica se conoce como la “brecha 10/90” que significa que sólo el 10 por ciento de los fondos son dirigidos a investigar en enfermedades responsables por el 90% de la carga de

enfermedad mundial (MSF/DND, 2001).⁵ Un claro indicador de la existencia de enfermedades no atendidas por la industria farmacéutica son los resultados de la investigación y desarrollo de drogas. Según un reporte de *Médicos sin Fronteras*, entre 1972 y 1997, cerca de 1450 nuevas drogas (nuevas entidades químicas) fueron comercializadas. Pero, de ellas, sólo 13 eran para tratar enfermedades tropicales transmisibles y consideradas como esenciales según el modelo de la Organización Mundial de la Salud. Dos de esas 13 eran versiones actualizadas de otras ya existentes, dos eran resultado de investigación militar, cinco fueron resultado de investigaciones veterinarias, una derivaba de la farmacopea China. De manera que sólo tres pueden ser consideradas como genuinos productos de investigación y desarrollo de las compañías farmacéuticas occidentales (Trouiller, *et al.*, 1999). Pero, ¿se puede acusar a la industria farmacéutica de no investigar y desarrollar medicamentos que no dan ganancia, o que dan menores ganancias que otros?

La nanomedicina puede representar un importante potencial para los pobres. Pero, es dudoso que los principales fondos sean destinados a investigar enfermedades de los pobres. Y, si este fuese el caso, más difícil aún sería que el resultado práctico de estas investigaciones en la forma de medicinas, mecanismos de monitoreo y control, implantes, etc. sean los que los pobres necesitan. El interés de las corporaciones farmacéuticas es la ganancia, no solucionar los problemas de pobreza.⁶ Ahora, si la ciencia y tecnología no se orienta a cubrir las necesidades de quienes la necesitan, ¿a quien sirve?

⁵ La medida de carga de la enfermedad o DALY fue introducida por la Organización Mundial de la Salud a mediados de los años noventa del siglo XX para medir el peso de las enfermedades en términos de los años de vida perdidos. El DALY combina información del impacto de la muerte prematura y de indisposición, así como otros resultados no mortales. Cada DALY puede entenderse como un año de vida sana perdida, y la carga de la enfermedad como la brecha entre el nivel actual de salud y la situación ideal en la cual todos viven hasta la edad adulta sin enfermedades e indisposiciones (OMS, 2003a).

⁶ Colocamos en el Google el término “nanotechnology+cancer” y dio 2.120.000 resultados; “nanotechnology+AIDS” y dio 1.080.000 resultados (casi la mitad que con cáncer); “nanotechnology+Tb” y dio 242.000 (casi 9 veces menos que con cáncer); y también “nanotechnology+malaria”, con 171.000 resultados (¡más de 12 veces menos que con cáncer!) (consulta realizada el 19 de noviembre de 2005).

El segundo elemento tiene que ver con el acceso a los resultados de la ciencia y la tecnología. Los defensores de la visión técnica y neutral dirán: el argumento histórico no invalida la técnica, y sugieren la creación de Asociaciones Público-Privado, encargadas de investigar y producir lo que las corporaciones privadas no hacen (Salamanca-Buentello *et al*, 2005). Sería una forma de “corregir” las fallas del mercado. Si la gran mayoría de los enfermos no tienen dinero suficiente para comprar el medicamento, o la industria farmacéutica no investiga en medicinas para curar enfermedades de pobres es porque hay una falla en el mercado (Brundtland, 2001). Pero, este argumento también puede ser fácilmente criticado. Si el problema es de una falla del mercado, no habría rama de la producción donde no fallara, ya que hay en el mundo 1200 millones de indigentes que prácticamente no pueden comprar nada. En realidad no es la falla del mercado, sino su buen funcionamiento que origina esas desigualdades. En el caso de las medicinas esa contradicción adquiere un marco ético porque muestra que la producción para el mercado no puede dedicar sus enormes avances en materia de ciencia y tecnología a solucionar los principales problemas de salud del mundo. Es ilusorio pensar que instituciones basadas en la caridad, como son las Asociaciones Público-Privado (Public-Private Partnerships) van a solucionar problemas históricos que requieren de presupuestos e instituciones sustentables en el tiempo, y cuando la propia dinámica del mundo globalizado acentúa la brecha entre los ricos y los pobres día a día. El Director General de la Federación Internacional de la Asociación de Industrias Farmacéuticas (IFPMA) dijo a la revista *Economist* del 28 de Abril de 2001 que “aún a los precios más bajos mucho de los pobres del mundo no tienen acceso a los tratamientos para la malaria, TB y otras enfermedades”. Con ello desnuda la realidad: bajo un sistema de producción mercantil no se puede tener acceso a medicamentos sin dinero; y también deja ver que, él mismo, no se imagina ninguna manera diferente (como el sistema de impuestos y la salud pública) para que los enfermos tengan acceso a los medicamentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arabe, K. (2002). *Biomedical: Risks Weighed as Products Enter Market*. Thomas Net Industrial News Room. Industrial Market Trends. September 05.
http://news.thomasnet.com/IMT/archives/2002/09/biomedical_risk.html
 [Consultado November 15, 2005].
- Bonadio, J. (2002). "Gene Therapy: Reinventing the Wheel or Useful Adjunct to Existing Paradigms?" In: Roco, M. C. y Bainbridge, W. S. (editors). *Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. NSF/DOC-sponsored report. Arlington: National Science Foundation.
<http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/> [Consultado marzo 14, 2005].
- Bonadio, J.; Cauller, L.; Chance, B.; Connoly, P.; García-Rill, E.; Golledge, R.; Heller, M.; Johnson, P.C.; Kang, K.A.; Lee, A.P.; Llinas, R.R.; Loomis, J. M.; Makarov, V.; Nicolelis, M.A.L.; Parsons, L.; Pez, A.; Pope, A.T. ; Watson, J.; Wolbring, G. (2001). "Improving Human Health and Physical Capabilities. Theme C. Summary". In: Roco, M. C. y Bainbridge, W. S. (eds). *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. (Final Report from the Workshop held at the National Science Foundation, sept. 28-29, 2000).
<http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/>
 [Consultado marzo 14, 2005].
- Brundtland, G. H. (2001). Globalisation as a force for better health. 16 March
<http://www.lse.ac.uk/collections/globalDimensions/lectures/globalisationAsAForceForBetterHealth/transcript.htm> [Consultado diciembre 03, 2002].
- ETC group (2004). "NanoParticles Shown to Cause Brain Damage". *Organic Consumers Association*. 01/04/2004.
www.organicconsumers.org/foodsafety/nanobrain040504.cfm
 [Consultado marzo 3, 2005].
- Evans, R.; Barer, M. & Marmor, T. (eds). (1994). *Why are some people healthy and others not? The determinants of Health of Populations*. New York: Aldine de Gruyter.
- Feynman, R. (1961). "There's Plenty of Room at the Bottom". En: Gilbert, H. D. (Ed.), *Miniaturization*. New York: Reinhold, 282-296.
- Flynn, Ted & Wei, Chiming. (2005). "The pathway to commercialization for nanomedicine". *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine* 1, 47-51.
- Forbes. (2004). *Nanotech Report*. 3 (12), 1-3. www.forbesnanotech.com

- Freitas, R. (2003). "Nanotechnology and Nanomedicine". En: *NanoNews-Now*. (2003). *Will you live to see 153? Years! That is. Nano News-Now Premium Newsletter # 3*. September.
- Grabowski, H. & Vernon, J. (1994). "Return to R&D on new drug introductions in the 1980s". *Journal of Health Economics*, 13, 383-406.
- Holister, P. (2003). (Chief Architect of the Nanotechnology Opportunity Report TM, and editor of TNT weekly. CIO of CMP Cientifica and Founder and Research Director of the ENA). Referencia tomada de: *NanoNews-Now*. (2003). *Will you live to see 153? Years! That is. Nano News-Now Premium Newsletter # 3*. September.
- Invernizzi, N. & Foladori, G. (2005). "Nanotechnology and the Developing World. Will Nanotechnology overcome poverty or widen disparities?" *Nanotechnology Law & Business Journal*, 2 (3).
- Juma, C. & Yee-Cheong, L. (2005). "Reinventing global health: the role of science, technology and innovation". *The Lancet*. 365, 1105-1107.
- LuxResearch. (2004). "Big Pharma is Missing the Nanotechnology Opportunity". *News Release*, February 15.
- Medecins Sans Frontiers (MSF)/Drugs for Neglected Diseases Working Group (DND). (2001). *Fatal Imbalance. The crisis in research and development for drugs for neglected diseases*. Geneva. www.msf.org
- Nicolelis, M. (2001). "Human-Machine Interaction: Potential Impact of Nanotechnology in the design of Neuroprosthetic devices aimed at restoring or augmenting human performance". In: Roco, M. C. y Bainbridge, W. S. (eds). *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. (Final Report from the Workshop held at the National Science Foundation, sept. 28-29, 2000). <http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/> [Consultado marzo 14, 2005].
- Nordmann, A. (Rapporteur). (2004). *Converging Technologies. Shaping the Future of European Societies*. Report. HLEG Foresighting the New Technological Wave. http://europa.eu.int/comm/research/conferences/2004/ntw/pdf/final_report_en.pdf [Consultado noviembre 14, 2005].
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2003. <http://www.who.int/whr2001/2001/main/en/boxes/box2.2.htm> [Consultado diciembre 25, 2002].
- Ratner, M. & Ratner, D. (2003). *Nanotechnology: A Gentle Introduction to the Next Big Idea*. Referencia tomada de: *NanoNews-Now*. (2003). *Will you live to see 153? Years! That is. Nano News-Now Premium Newsletter # 3*. September.
- Salamanca-Buentello, F., Persad, D. L., Court, E. B., Martin, D. K., Daar, A. S., Singer, P., (2005). "Nanotechnology and the Developing World". *PLoS*

- Medicine*, 2 (5), May. <http://medicine.plosjournals.org/perlserv/?request=get-document&doi=10.1371/journal.pmed.0020097> [Consultado mayo 20, 2005].
- Sarewitz, D. (2005). "Will human enhancement make us better?" *Los Angeles Times*. August 9, 2005, B13.
- Sarewitz, D., & Woodhouse, E. (2003). "Small is powerful". In: *Living with the Genie*. Pgs, 63-83. Washington D.F.: Island Press.
- Trouiller, P., Battistella, C., Pinel, J. & Pecoul. (1999). "Is orphan drug status beneficial to tropical disease control? Comparison of the American and future European orphan drug acts". *Tropical Medicine and International Health*, (4), 6, 412-420.
- Uldrich, J. & Newberry, D. (2003). *The Next Big Thing is Really Small: How Nanotechnology Will Change the Future of Your Business*. Random House Inc. Citas en: *NanoNews-Now*. (2003). *Will you live to see 153? Years! That is. Nano News-Now Premium Newsletter # 3*. September.
- Varga, B. (2003). (Executive Director of NanoSig). Cita tomada de: *NanoNews-Now*. (2003). *Will you live to see 153? Years! That is. Nano News-Now Premium Newsletter # 3*. September.
- Wherrett, C. & Yelovich, J. (2005a). "A Giant Leap for Nano". *The Motley Fool*. January 18, 2005. <http://www.fool.com/News/mft/2005/mft05011811.htm> [Consultado noviembre 15, 2005].
- Wherrett, C. & Yelovich, J. (2005b). "Billion-Dollar Markets". *The Motley Fool*. January 18. <http://netscape.fool.com/news/commentary/2005/commentary05012704.htm> [Consultado noviembre 15, 2005].
- Wolbring, G. (2002). "Science and Technology and the Triple D (Diseases, Disability, Defect)". In: Roco, M. C. & Bainbridge, W. S. (editors). *Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. NSF/DOC-sponsored report. Arlington: National Science Foundation. <http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/> [Consultado marzo 14, 2005].
- Yonas, G. & Picraux, S.T. (2001). "National Needs Drivers for Nanotechnology". In: Roco, M. C. & Bainbridge, W. S. (eds). *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. (Final Report from the Workshop held at the National Science Foundation, sept. 28-29, 2000). Pgs. 37-44. <http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/> [Consultado marzo 14, 2005].