

Nanobioética, nanobiopolítica y nanotecnología

Nanobioethic, nanobiopolitics and nanotechnology

Jairo E. Márquez D.¹

Resumen

El estudio de la bioética gira en torno a la preservación y respeto por la vida, y sus principios éticos buscan mostrar a las sociedades la importancia de la conservación y cuidado de la misma, manifiesta en sus diferentes formas. Con base en esta premisa, en este trabajo se contempla extender el estudio de la bioética (nanobioética y nanobiopolítica) a las nuevas ciencias emergentes, tales como la nanotecnología, la cual dentro de muy pocos años va a permitir crear "vida artificial" (vida gris y vida digital), cuyo panorama con respecto a la existencia de la vida natural es incierto, pues existe gran incertidumbre sobre el comportamiento de los sistemas artificiales nanotecnológicos SAN en entornos abiertos (ecosistemas), en los que presumiblemente exista una competencia entre estos dos tipos de vida por su supervivencia. De suceder esta competencia, los SAN van a adquirir autonomía propia (SCAN), haciendo que interaccionen con los organismos naturales, induciéndola a crear nuevos nichos híbridos o independientes de la vida natural.

Palabras claves: Nanotecnología, nanobioética, nanobiopolítica, sistemas emergentes, sistemas complejos, sistemas termodinámicos, adaptación, evolución.

Abstract

The study of the bioethic id about the preservation and respect for the life, where its ethical principles look for to show to the societies, the importance of the conservation and care of the same one, apparent in their different forms. Under this premise, it is contemplated in this present work, to extend the study of the bioethic (nanobioethic and nanobiopolitic) to the new such emergent sciences as the nanotecnología, which goes in very few years has to allow to create "artificial life" (gray life and digital life) whose panorama with respect to the existence of the natural life will be uncertain, because great uncertainty exists on the behavior of the systems artificial nanotecnológicos SAN in open environments (eco-systems), in those that presumably a competition exists among these two types of life for its survival. Of happening this competition, those SAN they will acquire own autonomy (SCAN), making that interaction with the natural organisms, inducing it to create new hybrid or independent niches of the natural life.

Key words: Nanotechnology, bioethic, biopolitic, nanobioethic, nanobiopolitic, emergent systems, complex systems, thermodynamic systems, adaptation, evolution.

¹ Físico Matemático, con estudios en Ingeniería electrónica y Ciencias de la Computación. Especialista en Docencia Universitaria, bioética, cableado estructurado. Master en bioética, Universidad El Bosque. Investigador académico y privado en las áreas de nanotecnología, nanoneurotecnología, telecomunicaciones y sistemas emergentes, entre otros. Adscrito a la Royal Society Nanotechnology Uk, Foresinght Institute Nanotechnology, YET2 y al SPIE. Defence + Security. Connecting minds. Advancing Light. nanoelectrosystems.rd@walla.com

Correspondencia: Calle 82B N° 95D-45, interior 301, Bocachica II. Bogotá, Colombia.

Fecha de recepción: 21 de febrero de 2008
Fecha de aceptación: 20 de abril de 2008

INTRODUCCIÓN

Con los cambios vertiginosos a nivel tecnológico y científico que se han venido suscitando desde hace más de tres décadas en la nanotecnología, se obliga a las comunidades a replantear el papel fundamental del avance científico con su entorno y la relación de éste con el planeta Tierra. La nanotecnología ha recibido toda la atención de los países industrializados, debido a su potencial industrial y científico que abarca todas las ciencias, desde la medicina hasta la ingeniería espacial, donde los resultados esperados en términos económicos se estiman en varios billones de dólares por año, aparte de mejorar la calidad de vida del hombre y del medio ambiente. Pero tras ello se hayan ligados aspectos éticos, morales y bioéticos (nanobioéticos y nanobio-políticos) relacionados con la vida y en cierta medida con la muerte, lo cual establece la necesidad de analizar las posibles consecuencias de las investigaciones en el campo de la nanotecnología, de sus productos finales y sus posteriores aplicaciones, ya sean éstas en pro o en contra de la vida natural.

NANOTECNOLOGÍA

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

Con la nanotecnología se plantea en un futuro no muy lejano crear sistemas nanoscópicos que permitan ensamblar o autoensamblar estructuras moleculares usando

como materia prima elementos del entorno, lo que ocasionará que a medida que se vaya reduciendo la escala de trabajo de los dispositivos, los efectos cuánticos serán cada vez más importantes. Por consiguiente, la nanotecnología se ha desplegado en tres grandes campos de investigación y desarrollo:

- **Nanotecnología seca:** Se deriva del estudio de la física de superficies y la fisicoquímica de materiales. Se emplea en la construcción de estructuras usando como materia prima átomos de carbono, silicio, óxidos metálicos y materiales inorgánicos, en el que se aprovecha la propiedad de los electrones de ser altamente reactivos en estos compuestos, sobre todo en ambientes húmedos, lo que los hace prometedores para la fabricación de dispositivos con capacidad de ensamble y autoensamble *in vivo* y *ex vivo*. Con base en las propiedades antes citadas existen las tecnologías de los nanotubos, que se aplican a la nanoelectrónica y nanomedicina, los cuales funcionan según el dopaje como aislantes, semiconductores o conductores eléctricos. También se aplica la nanotecnología seca en materiales criogénicos, en dispositivos optoelectrónicos, en construcción de dispositivos de estado sólido y en la construcción de ensambladores y autoensambladores moleculares para múltiples aplicaciones industriales.
- **Nanotecnología húmeda:** Su desarrollo está dirigido básicamente a la investigación de sistemas biológicos o vivientes que son gobernados a escala nanométrica, tales como el material genético (mapa genético), enzimas, hormonas, proteínas y componentes celulares en general. Se ha comenzado a producir nanomáquinas basadas en proteínas, al igual que el uso de material genético para formar enzimas, las cuales son de por sí máquinas capaces

de construir o deshacer moléculas. Estas investigaciones se promueven en la dirección de crear circuitos y computadoras moleculares, al igual que promover nuevas disciplinas científicas de alto rango, tales como la nanobiotecnología y la nanobiología entre otras.

- **Nanotecnología computacional:** En ella encontramos la computación cuántica y la computación orgánica o molecular (ADN). También abarca los campos de simulación y modelado de nanoestructuras complejas, como son nanocircuitos y nanotransistores, electrónica flexible y espintrónica. Combina la nanotecnología seca y húmeda.

Por medio de técnicas nanométricas se plantea la construcción de los ensambladores moleculares: máquinas moleculares que construyen o ensamblan de abajo arriba bloques de moléculas para formar productos. Por ejemplo, máquinas moleculares para tareas específicas o para repetir la misma función que su progenitor, que a su vez crearán otras mayores. Este proceso sigue hasta que las máquinas de ensamblaje configuren el producto final, utilizando como única materia prima cantidades amorfas de los átomos necesarios.

Se plantea que estructuras como edificios sean construidos por nanorobots capaces de autorreplicarse, de tal manera que creen y ensamblen estructuras usando elementos del entorno (los átomos y moléculas). Lo que garantiza el uso racional de materia prima. Dicho principio sería aplicado a todo: alimentos, naves espaciales, vehículos, electrodomésticos, eliminación de residuos, drogas, órganos y tejidos artificiales, reparación del cuerpo humano desde adentro, reparación de la capa de ozono, entre otras. ¿Fantasía o realidad? Es posible por ahora, pero la ciencia

no se detiene, y es sólo cuestión de tiempo.

Tras este desarrollo tecnológico, la nanotecnología trae consigo problemas de gran envergadura, que van a influir de manera radical en la vida de todos los organismos que pueblan el planeta Tierra. Así:

1. *Criogenia o Biostasis:* Consiste en preservar un cuerpo humano mediante su congelamiento con la finalidad de resucitarlo en el futuro. El objetivo es suspender la vida amenazada por una enfermedad incurable hasta tanto se logre obtener la cura a la misma. Aquí surge una pregunta: ¿Cómo se enfrentaría la sobrepoblación que originaría vencer el envejecimiento por medio del uso de la nanotecnología? También se discute qué tan viable es gastar grandes sumas de dinero en esta técnica sabiendo que podría emplearse en salvar numerosas vidas en el presente.
2. *Código genético:* Con la información del código genético será fácil para aquellos que tengan los medios económicos y técnicos manipular el ADN a su antojo para crear organismos o virus letales; también podrían tomarse células de la persona y emplear su ADN para crear duplicados o clones embriónicos con fines delictivos como trasplantes no autorizados o la venta de órganos; crear cualquier elemento animado o inanimado a partir de nanoestructuras ensamblantes o autoensamblantes; insertar dispositivos bioelectrónicos capaces de medir diferentes variables metabólicas y transmitir la información a hospitales o compañías de seguros sin que las personas lo sepan.
3. *Aplicaciones militares o en nanoterrorismo:* Ejércitos de nanomáquinas especializadas en matar a un determinado objetivo

según su ADN. Dentro de este contexto se plantean los sistemas artificiales nanotecnológicos furtivos SANF, diseñados para pasar desapercibidos, atacar y destruir a su enemigo en forma rápida y selectiva.

4. *Manipulación genética*: Su aplicación está centrada en crear vectores virales letales superiores a los actuales –guerra biológica y bioterrorismo avanzados–; también se piensa que los sistemas artificiales nanotecnológicos al entrar en contacto con la naturaleza podrán crear nueva vida, cuya influencia en la Tierra se desconoce totalmente. ¿Qué podría pasar si se reprodujesen en los ecosistemas humanos y no-humanos nuevos microorganismos por medio de la nanobiotecnología?
5. *Desarrollo de máquinas inteligentes*: Nanodispositivos y máquinas robóticas que efectuarán las tareas asignadas mejor que los seres humanos; la raza humana podría fácilmente acabar por adaptarse a una situación de tal dependencia en relación con las máquinas que, al final, irremediamente se vería obligada a aceptar todas las decisiones de éstas. Eventualmente, se llegará a un estadio en el que las decisiones altamente complejas para los seres humanos las asumirán las máquinas, los cuales tomarán el control. Esto hará que el hombre se vuelva dependiente extremo de las máquinas. Así se plantea una serie de preguntas: ¿Hasta qué punto nosotros podremos “tener el control”, o los robots necesitarán de nosotros?; ¿quién tomará decisiones?: ¿las máquinas o el hombre?; ¿qué sucederá si las computadoras deciden, una vez que sean autoconscientes, que son superiores a los humanos? Y ¿cómo se relacionarán las computadoras con los humanos
- menos inteligentes que les rodeen? ¿Podrían, incluso, aparecer como una nueva especie capaz de provocar nuestra desaparición del planeta?
6. *Nanosistemas*: Si los sistemas artificiales reproducidos sólo funcionarían en ambientes artificiales cuidadosamente controlados, ¿cómo se podría desarrollar aplicaciones de nanotecnología que funcione en ambientes complejos, por ejemplo, dentro del cuerpo humano o en la naturaleza? ¿cómo y de qué se alimentarán los nanorobots?, ¿qué fuente de energía van a utilizar para su funcionamiento? Y ¿cómo disipar el calor producido por tal número de operaciones? ¿qué sucederá si la multiplicación de nanorobots se sale de control y se reproducen exponencialmente?
7. *Nanocomputación*: Si se llega a dominar la computación molecular y cuántica, y por extensión la criptografía cuántica, cualquier sistema de cómputo o de seguridad a nivel mundial, sea éste corporativo, gubernamental o militar, se verían en grandes y serios aprietos para resguardar sus secretos. Se presentaría un caos en los sistemas de información a nivel mundial, pues no existiría control alguno sobre ataques ciberterroristas de este tipo.
8. *Control en I+D*: ¿quién controlará la nanotecnología? ¿Quién determinará la agenda de investigación y los beneficios de las tecnologías de nanoescala?, es más, ¿cómo podrán los gobiernos y la sociedad civil comenzar a tratar los impactos socioeconómicos potenciales, así como para el ambiente y la salud, sin desanimar la investigación segura de sus posibles beneficios que representa la nanotecnología?

9. *Desarrollo nanoescalar*: ¿Con qué fines se está desarrollando la nanotecnología?, ¿a quién beneficiarán las investigaciones y desarrollo en nanotecnología? y ¿cuáles serán los impactos sociales y éticos? ¿Qué pasará cuando haya una contaminación constante y permanente de nanopartículas fabricadas en el aire, agua y tierra? ¿Cuáles serán las consecuencias a corto, mediano y largo plazo de la contaminación de las células vivas con nanopartículas? ¿Se incrementará o reducirá el consumo de materiales y energía con respecto al escenario actual? y ¿qué tipo de materiales y energía serán el corazón de la nanotecnología?

Estas y muchas más preguntas están aun en el limbo. Y para hallar respuestas a las mismas se debe estudiar cuidadosamente la evolución de la nanotecnología, en particular, aquella que manipula las moléculas de la vida.

Sistemas Artificiales Nanotecnológicos (SAN)

Los avances en nanotecnología, en particular los ensambladores o autoensambladores (replicadores), inteligencia artificial y vida artificial se resumen en dos conceptos: *Sistemas Artificiales Nanotecnológicos (SAN)* y *Sistemas Artificiales Nanotecnológicos Furtivos (SANF)*, que van a evolucionar tarde o temprano sin la intervención de la mano del hombre. Estos sistemas tendrán un comportamiento emergente evolutivo, que presentará una bifurcación fractal entre la vida artificial y la vida natural, dando como resultado una vida híbrida, simbiótica o propia.

Tal como van las cosas, estas máquinas moleculares evolucionarán más rápido de lo que nosotros pensamos. ¿Por qué? Las técnicas de manipulación molecular han pro-

gresado mucho, al igual que los campos de la biotecnología, microelectrónica, informática, computación, química y física cuánticas, entre otros, y han dado como resultado una gran diversificación de diseño de elementos y componentes a escalas meso, micro y nano. Esto conducirá a que las estructuras moleculares básicas fruto de la nanotecnología se les confiera un rango de adaptación sin igual, lo que les va a permitir entrar en interacción con otros elementos de su entorno y conformar nichos replicadores, aun existiendo “disoluciones”, lo cual permitirá una autoorganización de sus bases moleculares internas, y adoptarán de manera paulatina las características de un sistema complejo autoorganizado. Posteriormente, este comportamiento será similar a un sistema complejo natural memético, es decir, habrá un cambio de fase termodinámico, una bifurcación de la vida en la que parte de la información puede replicarse y evolucionar sin la intervención del hombre, una vida a la que se le ha llegado a denominar *vida gris*.

El evento que produjo la vida en la Tierra no es claro; se cree que las primeras moléculas o seres que poseían vida fueron traídos por un cometa o un meteorito, incluso por extraterrestres. Otros atribuyen la vida a las condiciones medioambientales iniciales en la Tierra primigenia, en la que el efecto invernadero fue el ideal para el caldo químico que dio inicio a las primeras comunidades primitivas de células que produjeron vida (1), que fueron bifurcándose a través del tiempo y generando estructuras vivas más organizadas y más complejas, abriendo el espacio ideal para que estas comunidades dieran paso a otras mucho más organizadas.

Stuart Kauffman afirma que los seres vivos son sistemas de alto orden, que poseen estructuras intrincadas, que se han mantenido

y aun se han duplicado a través de procesos muy precisos de actividades químicas y comportamentales. Es posible que el orden biológico refleje en parte un orden espontáneo en el cual ha actuado la selección. Esta selección ha moldeado la coherencia nativa de la ontogenia o desarrollo biológico, pero no ha sido compelida a inventarla, es decir, la capacidad de devenir y de adaptarse puede haber sido un logro de la evolución, entendida como matrimonio de la selección y de la autoorganización (2).

La vida natural como artificial puede analizarse dentro del contexto de la termodinámica fuera del equilibrio. Así:

La ley cero de la termodinámica: Dos sistemas en equilibrio térmico con un tercer sistema están en equilibrio térmico entre sí. Esta ley es fundamental para que el flujo de información se mantenga, interaccione y evolucione. Por lo tanto, la energía invertida en los procesos químicos moleculares de los organismos tuvo que haber tenido un equilibrio inicial, suficiente para mantener la autocatálisis, la autopoiesis*, la autoorganización**, centradas en la sinérgica***, y todas ellas girando en torno a Gaía****. Lo importante de esta afirmación es que ya se puede obtener los primeros sistemas vivos *in vitro* basados en estas premisas.

* La *autopoiesis* es la capacidad de un sistema para organizarse de tal manera que el único producto resultante es él mismo. No hay separación entre productor y producto. El ser y el hacer de una unidad autopoietica son inseparables, y esto constituye su modo específico de organización.

** Los sistemas complejos autoorganizados, donde las regularidades detectadas se comprimen en una suerte de esquema interno, independiente de todo reglamento externo. Los procesos de mutación dan origen a esquemas rivales. Cada esquema provee, a su manera, alguna identificación de las entradas, o sea, de lo que sucede; y alguna predicción y prescripción para la acción (cuando la acción está ligada al estímulo).

Primera ley de la termodinámica: Es la ley de conservación de la energía. Esta ley se aplica a todo proceso de la naturaleza que parte de un estado de equilibrio y termina en otro. En el caso del flujo de calor, es la transferencia directa de energía entre grados de libertad microscópica (internos). Para el caso de los SAN, éstos deben poseer energía cinética de movimiento, ya sea atómico o molecular, entendido éste como un sistema complejo, más la energía potencial de interacción de los elementos que conforman el sistema; por ello, la energía interna es la que está asociada con el movimiento molecular "aleatorio" del sistema, que actúa en los organismos vivos como autómatas celulares, comportamiento similar al de las moléculas de un gas en un recipiente. La diferencia radica en la transferencia e interacción de energía dentro del mismo sistema, que es lo que hace constantemente la naturaleza y que los entes artificiales también lo hagan.

Segunda ley de la termodinámica: Esta ley se denomina para sistemas vivos como "termodinámica fuera del equilibrio", obliga a los sistemas a dividirse, decaer, envejecer y morir. El desarme y la destrucción de los sistemas conlleva la liberación de información, que es eventualmente aprehendida por un reducido número de subsistemas, que incrementan así su complejidad, siempre y cuando la infor-

*** Ciencia de la autoorganización espontánea; fenómeno que no puede ocurrir sino en sistemas complejos en desequilibrio.

**** La hipótesis denominada Gaía por James Lovelock en 1976 se refiere a la superficie terráquea viva y a su ambiente circundante, considerados como proceso en evolución que constituye un suprasistema fuertemente acoplado. Sus sistemas constituyentes son la biota y su envolvente material, formada por atmósfera, océanos y rocas superficiales. Tanto en la biota como en su envolvente aparecen importantes propiedades que se autorregulan. Son el clima y la composición química, por ejemplo, que –según la hipótesis– surgen como variable dependiente del proceso evolutivo.

mación liberada no sea producto de eventos catastróficos. En este enunciado aparece el concepto de *Entropía*, que proporciona un criterio cuantitativo o grado de desorden de un estado en la dirección en la cual ocurren los procesos y, por ende, para el cuasiequilibrio de un sistema. Entre más desordenado esté un estado, mayor es su entropía. La autoorganización es un ejemplo claro de procesos reversibles e irreversibles, en el que los sistemas pueden verse afectados por perturbaciones aleatorias (función de estado), modificando su estructura u organización *in situ*, bifurcándose, creando equilibrio o desequilibrio momentáneos o permanentes según su grado de complejidad, comportándose como una estructura disipativa, produciendo emergencia, entendida ésta como evolución y/o adaptación basado en los planteamientos de Prigogine. Para este tipo de eventos existe la contraposición de la entropía, la negentropía*, única y exclusiva de los sistemas vivos, indistinto de la escala a los que se los mire.

La información fluye entre los sistemas vivos a diferentes escalas. Stephen Prata propone que hay una gran dificultad entre la distinción y las características esenciales o intrínsecas que definen la vida (comportamientos, fenómenos, etc.) y las características referentes a su forma o expresión, las cuales pueden ser accidentales o casuales (moléculas de carbono, como en la vida biológica actual). La información a escalas

menores (atómica y molecular) fluye, se distribuye y en cierta medida se comparte; por ello, no descarto, al igual que muchos científicos, que la vida no sea tan casual como algunos la quieren hacer ver, sino que es más común de lo que parece, “la materia comparte información”; un ejemplo de ello nos los dan los sistemas nanotecnológicos naturales desde los inicios de la vida en la Tierra, la afinidad química y/o molecular de las sustancias para crear sistemas con mayor grado de complejidad, que a la vez luchan en contra de la entropía dura o caótica por medio de una *entropía suave*.*

En el contexto de la vida artificial nanotecnológica, al igual que la vida natural, deberá comportarse como un sistema complejo inestable, manteniendo delicadamente un equilibrio, sin llegar a un mínimo de energía crítico. Cualquier variación mínima entre sus elementos componentes puede modificar, de forma imprevisible, las interrelaciones y, por consiguiente, el comportamiento de todo el sistema, entrando a un cambio de fase entrópico suave o duro, dependiendo del entorno, pues esta dependencia está íntimamente ligada al nivel de complejidad que posean. Entonces las leyes que gobiernan la causalidad de un nivel dado pueden diferir a las de un nivel superior. Es decir, aunque el microsistema opere de manera similar al de un macrosistema, no implica que un nanosistema lo haga, ya que el factor de escala es radical, y la mecánica cuántica tiene

* La *negentropía* se define como la energía necesaria que requiere el principio de organicidad para desarrollarse, es decir, cualquier sistema abierto interactúa con el medio, por lo que se genera un intercambio de energía, que se expresa por medio de información, que previamente ha sido procesada en el interior del sistema por sus partes (entradas, medio, salidas y retroalimentación). En las entradas es donde la información juega un papel clave como medio regulador, ya que a través de ella se puede disminuir la cantidad de entropía que tiende a desordenar el sistema; sin embargo,

el sistema a través de la negentropía puede combatir y superar esa tendencia.

** Llamo *entropía suave* a la que presenta todo sistema vivo, que se opone a la entropía dura o caótica, que es la que cambia o induce a los sistemas vivos a colapsar o cambiar de estado (muerte). Todos los organismos vivos luchan constantemente contra la entropía caótica. La Bioética y la Nanobioética también luchan contra este tipo de entropía, su fin es mantenerla controlada mediante un equilibrio isotrópico de la vida (velar por la vida).

mayor relevancia que ha mesoescala. Así, la evolución de esta clase de sistemas se caracteriza por la fluctuación, aquella situación en la que el orden y el desorden se alternan constantemente. Sus estados evolutivos no transcurren a través de procesos continuos y graduales, sino que suceden por medio de reorganizaciones y saltos. Cada nuevo estado es sólo una transición, un período de *reposo entrópico*.

En la explosión de la vida el orden (isotropía) y el desorden (entropía) se necesitan el uno del otro, se producen mutuamente, son antagónicos, pero al mismo tiempo complementarios. En cierta medida, el caos posibilita un orden diferente, y a veces lo enriquece más que el mismo orden. Un ejemplo de ello lo podemos tener en las grandes extinciones de animales y plantas ocurridas en varios periodos de tiempo en la Tierra, hecho que permitió la diversificación de unas especies y el colapso de otras. La variación y el cambio son etapas inevitables e ineludibles por las cuales debe transitar todo sistema complejo para crecer y desarrollarse, que fue lo que sucedió con la explosión de la vida en sus primeras etapas y que continúa con cada ser viviente que puebla la Tierra. Se dice entonces que cuando esta transformación se consigue sin que intervengan factores externos al sistema, se hace mención a un proceso de autoorganización, que se erige como parte esencial de cualquier sistema complejo. Es la forma a través de la cual el sistema recupera el equilibrio, modificándose y adaptándose al entorno que lo rodea y contiene. En esta

clase de fenómenos es fundamental la idea de los niveles. Las interrelaciones entre los elementos de un nivel originan nuevos tipos de elementos en otro nivel, los cuales se comportan de una manera muy diferente. Por ello, la incertidumbre sobre cómo evolucionarán los organismos y microorganismos cuyo origen es la nanotecnología, pues al fin y al cabo estarán sujetos a las mismas condiciones del entorno de aquellos organismos naturales.

Prigogine ha demostrado que una nueva forma para estructuras ordenadas puede existir en las recién expresadas condiciones. Les dio el nombre de estructuras disipativas, que calan dentro de las leyes físicas no lineales,* donde estas estructuras se entienden como aquel o aquellos sistemas en los cuales su energía se degrada en forma de calor, que en parte no es transformable en otras formas de energía menos degradada, es decir, una estructura es disipativa en la medida que ayuda a los mecanismos disipativos.

No hay que olvidar que todos los organismos o sistemas vivos –incluyendo los nanotecnológicos– son una relación entre átomos y moléculas que buscan mantenerse estables, nacen con un valor estable de energía, pero tienen una tolerancia mínima y máxima de energía, en la que en cada ciclo el organismo recibe o pierde energía dependiendo de la reacción de los materiales a los ambientes: si la reacción es positiva, suma un punto de energía a la estabilidad; si es negativa, resta un punto de energía a la estabilidad del organismo. El ideal sería que tuviese un

* La física donde estamos inmersos ya viene prefabricada con su no linealidad. Esas no-linealidades tienen orígenes muy diferentes según la disciplina que se estudia. Un objeto en una posición fija respecto a un sistema de referencia, la no linealidad se llama "inercia". En la química, la no linealidad se llama catálisis, se llama vida, se llama biología, entre varias otras opciones. En la psicología, la no linealidad se

llama razonamiento, se llama conciencia de tener conciencia. En genética se llama expresión del ADN. En educación se llama aprendizaje y autoaprendizaje. En sistemas de control, la no linealidad está en todo. En el cerebro, la no linealidad se llama sinapsis de una red neuronal. Simplificando, todo lo altamente dinámico es no lineal. Lo plano, aburrido, monótono y regular es lineal.

material que suma y otro que reste por ciclo, así sería eterna la estabilidad. Es decir, el sistema tiende a estar en suma cero.

El punto concluyente es que efectivamente se puede perturbar y obligar a un sistema a que adopte un comportamiento x o y , pero surge un problema, y es que esto se logra bajo condiciones controladas (un sistema cerrado); pero si el sistema llega a entrar en interacción con los demás elementos del medio, es claro que el control se pierde. Por ejemplo, los cambios o modificaciones genéticas hechas a determinados genes de plantas, animales y virus cultivados *in vitro* han tenido resultados negativos y, por qué no decirlo, nefastos cuando éstos han interactuado con agentes naturales. La vida emerge, y aunque queramos controlarla, ella en realidad es la que nos controla. Creer que hay control absoluto sobre un proceso natural en un entorno abierto es bastante iluso. Ya la historia del hombre y de otras especies nos lo ha demostrado incontables veces, la vida emerge con o sin la mano del hombre, y ella buscará la forma de minimizar un sistema inestable, es decir que se adapte o extinguirlo.

Para finalizar este apartado retomo las palabras del científico Chris Langton (3): "A mediados del siglo XX la humanidad adquirió el poder para extinguir la vida en la Tierra. A mediados del siglo XXI será capaz de crearla". En este proceso estamos muy cerca, sólo es cuestión de tiempo para que los primeros organismos artificiales entren en contacto con los naturales.

Relación vida artificial y nanotecnología

La vida artificial (VA) se dedica al diseño y construcción de organismos y sistemas que se comportan como seres vivos pero que son

creados por humanos. Su material de construcción es la materia inorgánica, y su esencia es la información: las computadoras y otros medios artificiales son la fuente en donde la VA emerge. El campo de estudio se basa en las mismas reglas que rigen en la vida real: genética, evolución, autoorganización, conductas complejas, aprendizaje, sistemas complejos, adaptación, evolución, coevolución, metabolismo y aspectos similares. El objetivo fundamental de la VA consiste en aplicar las reglas que rigen la vida natural en el medio digital y robótico con el propósito de estudiar las formas de vida orgánica conocidas y crear otras formas posibles de vida.

La importancia de su estudio radica en que los sistemas naturales constituyen una excelente fuente de inspiración para el desarrollo de la tecnología robótica y sistemas evolutivos cuyo enfoque es optimizar problemas complejos de difícil solución. De allí que la aplicación de esta nueva disciplina se perfila como una de las ramas más innovadoras y revolucionarias de lo que será la computación no lineal o suave durante el transcurso del presente siglo, lo cual abre el espacio para la evolución sin precedentes de la informática y la computación, por medio de los avances que se obtengan en nanotecnología computacional.

A medida que los SAN evolucionen permitirán explotar las propiedades de los autómatas celulares, haciendo que éstos interactúen y operen paralela y simultáneamente sin que exista un control central. Los comportamientos individuales no están programados implícitamente; los científicos sólo se limitan a dar un conjunto reducido de reglas de interacción que especifican lo que debe hacer cada una de ellas de acuerdo con la situación en que se encuentre. Nadie

es capaz de saber con precisión qué actitud tomará cualquiera de ellas en un momento dado. Debido a que se verifica un fenómeno de emergencia de alto nivel (es decir, inteligente) a partir de interacciones de bajo nivel (o sea, entre entidades no inteligentes). El conjunto puede resolver problemas que cada uno de sus individuos componentes es incapaz de realizar, usando la tecnología nanoelectrónica, la ingeniería genética y la nanobiotecnología, que darán pronto la capacidad para crear nuevas formas de vida, tanto *in silicio* como *in vitro*.

Si conjugamos la nanotecnología con la vida artificial y la física no lineal con sus propiedades emergentes, surgen hipótesis como la "hipótesis fuerte", la que supone que la vida en su concepción más amplia va más allá de la forma orgánica en la que la conocemos en la Tierra, y se cree que la vida es información y autoorganización que puede materializarse tanto en el carbono (*vida húmeda*) como *in silicio*, en aleaciones especiales (robótica) o en cualquier otro material (4). Lo que plantea el desarrollo a largo plazo de organismos vivos reales, cuya esencia es la información. Asimismo, estos sistemas artificiales vivientes podrán ser materializados en forma corporal, como nanorrobots y, en general, sistemas moleculares nanotecnológicos, o pueden vivir en el interior de una computadora molecular o cuántica.

Al igual que existe una hipótesis fuerte, también hay una hipótesis débil, según la cual algunos científicos admiten libremente que sus creaciones de laboratorio son simples simulaciones de aspectos de la vida. La meta de los practicantes de la Vida Artificial "débil" consiste solamente en comprender con mayor claridad la vida orgánica ("vida húmeda") que existe en la Tierra y, posiblemente, en

otros lados (5). Esto quiere decir que la vida gris y vida digital surgen por sí solas.

¿Qué significa hablar de vida gris? Significa que los sistemas artificiales nanotecnológicos podrían eliminar la vida induciéndola a una entropía irreversible, a un sistema complejo caótico convergente, haciéndolos menos atractivos que cualquier especie microscópica o mesoscópica conocida. Según palabras de Eric Drexler, "la amenaza gris deja algo perfectamente claro: no podemos arriesgarnos a sufrir ciertos tipos de accidentes con los ensambladores replicadores". Podría existir una especie de deriva memética *a posteriori* cuando los SAN y SANF deriven en sistemas complejos artificiales nanotecnológicos SCAN, que serían totalmente autónomos y que interaccionarían con el medio, creando nueva vida o sistemas vivientes híbridos, adoptando una posición de redundancia de sumacero o en el mejor de los casos una "suma positiva".

La vida digital emergerá en un ambiente diferente, "la red", capaz de evolucionar, adaptarse y adecuarse por sí sola. Esto se logrará gracias a los sistemas de programación y computación no lineales (algoritmos genéticos, redes neuronales artificiales, lógica difusa, lógica reversible y helicoidal, fractales, sistemas expertos, autómatas celulares, computación reversible y configurable, computación distribuida, complejidad computacional, computación cuántica, computación molecular y de ADN, computación de proteínas y dinámica computacional, entre otras), fruto de las investigaciones en inteligencia artificial y sistemas dinámicos no lineales. Pero no se quedará exclusivamente ahí, porque la biónica y la cibernética (ciencia que se ocupa de los sistemas de control y de comunicación en las personas y en las máquinas, estudiando y aprovechando todos sus aspectos y mecanismos

comunes) aportarán lo suyo, haciendo que este tipo de vida se traslape a la vida orgánica. ¿Quién será el mediador para que esto suceda? La nanotecnología por medio de disciplinas tales como la nanoelectrónica, la computación molecular, la nanobiología y nanobiotecnología, la espintrónica, la moletrónica, la biología sintética y la química nanoestructurada, entre otras disciplinas científicas.

NANOBIPOLÍTICA

La nanobiopolítica la defino como política de la vida llevada a nanoescala. Los aportes de Foucault sobre la biopolítica permiten reconocer la naturaleza de la misma, que es un nuevo paradigma del poder, que se siente cada vez más en nuestra sociedad contemporánea, y sin lugar a dudas será mayor en el futuro. Surge entonces la palabra “biopoder”, relacionada con la biopolítica y, por extensión, con la nanobiopolítica. Michel Foucault, a través del concepto de biopolítica, había anunciado desde los años setenta lo que hoy día va haciéndose evidente: la “vida” y lo “viviente” son los retos de las nuevas luchas políticas y de las nuevas estrategias económicas.

El biopoder es una forma de poder que rige y reglamenta la vida social por dentro, persiguiéndola, interpretándola, asimilándola y reformulándola. El poder no puede obtener un dominio efectivo sobre la vida entera de la población más que convirtiéndose en una función integrante y vital que todo individuo adopta y aviva de manera totalmente voluntaria (Michael Hardt y Toni Negri). - Tal definición es polarizada por la clase política de los países desarrollados, en la que el biopoder está expuesto abiertamente en las políticas expansionistas capitalistas y bélicas que rondan por todo

el mundo. Para el caso particular que nos ocupa, la nanotecnología tendrá que ver con las corporaciones y gobiernos que tienen los medios económicos y mano calificada para proseguir con las investigaciones y desarrollo tecnológico en esta disciplina.

El biopoder se sentirá más en algunos años cuando la nanotecnología madure y empiecen a aparecer en el mercado de manera masiva productos manufacturados, donde posiblemente muchos de ellos van a empezar a interactuar con el medio que le rodea, cambiándolo, adaptándose, o en el peor de los casos, destruyendo la vida natural –ya hay casos al respecto, como nanopartículas en cosméticos y pinturas–. Dentro de este contexto, podría aseverar que en este futuro el biopoder será abusivo, e implicará una biopolítica corrupta, en la que primará el capital y bienestar personal de unos pocos sobre la sociedad, lo cual condenará a las futuras generaciones a un desastre irreversible: una extinción masiva. Por lo tanto, el biopoder manejado de manera negligente puede llevar a la humanidad a una verdadera encrucijada, tal como lo ha hecho la biotecnología. Como dice Foucault (5), “la vida se ha convertido ahora [...] en un objeto de poder”. La más alta función de este poder es la de invertir la vida de parte a parte, y su primera tarea la de administrarla. El biopoder se refiere así a una situación en la cual lo que está directamente en juego en el poder es la producción y la reproducción de la vida misma.

La nanobiopolítica, al igual que la biopolítica, se “incorpora” y se “afianza” sobre una multiplicidad de relaciones de mando y de obediencia entre fuerzas que el poder “coordina, institucionaliza, estratifica, concluye”, pero que no son su proyección pura y simple

sobre los individuos. El problema político fundamental de la modernidad no es el de una causa de poder único y soberano, sino el de una multitud de fuerzas que actúan y reaccionan entre ellas según relaciones de obediencia y mando. Las relaciones entre hombre y mujer, entre maestro y alumno, entre médico y enfermo, entre patrón y obrero, con las que Foucault ejemplifica la dinámica del cuerpo social, son relaciones entre fuerzas que implican en cada momento una relación de poder. Si, según esta descripción, el poder se constituye partiendo desde la base, entonces hay que partir de los mecanismos infinitesimales que más tarde son “investidos, colonizados, utilizados, plegados, transformados, institucionalizados, por mecanismos siempre más generales y por formas de dominación globales” (6).

Debido a que la nanotecnología generalmente trabaja con los bloques elementales que forman la vida –y no con lo vivo directamente– ha logrado evadir en gran medida el escrutinio social, político y regulatorio. Dadas las preocupaciones relativas a la contaminación de los seres vivos con productos nanotecnológicos, se plantea que se debe declarar una moratoria inmediata sobre la producción comercial de estos productos y promover un proceso global transparente de evaluación de las implicaciones de esta tecnología en la sociedad, la economía, la salud y el ambiente, sin engañar a las personas y a la sociedad en general, tal como ocurrió con ciertos productos fruto de la biotecnología, y que generaron graves desastres ecológicos e innumerables muertes y pérdidas económicas incalculables. Aunque estos desastres fueron “resarcidos a medias”, en el caso de la nanotecnología no sería tan fácil, ya que se expone al filo la vida del planeta Tierra a la extinción masiva.

La función de la Nanobioética, en conjunto con la Nanobiopolítica, será crucial para determinar el alcance real de las investigaciones en nanotecnología, en lo concerniente a la manipulación de los bloques de la vida, sea ésta natural o artificial. Lo que conlleva a pensar que deberá enfrentarse con las dificultades de legislación en materia bioética como tal, es decir, las leyes son hechas por los legisladores; pero los legisladores son hoy, tal como señala Max Weber (7), “políticos profesionales”, es decir, gente que vive no sólo para la política sino también de la política. Esto hace, como señala Guy Durand (8), que “muy a menudo el motivo último del legislador frente a la adopción de una ley es de orden político y electoralista, y no de orden ético y científico. Cuando el gobierno apela a expertos, frecuentemente se producen interferencias de orden político y electoralista al final del recorrido, las cuales comprometen los objetivos deseados”. – Esto sucede muy a menudo, los políticos pasan por alto o desconocen total o parcialmente la ingerencia de la biopolítica (nanobiopolítica) en un tema tan delicado como el la preservación de la vida en todos los niveles; esto hace que los intereses económicos y clientelistas enmascarados en la corrupción harán más difícil que los procesos que llevan a cabo personas interesadas (ecologistas, bioeticistas, biopolíticos y nanobiopolíticos) sean menos transparentes y desechas sus convicciones.

El reto está en ser perseverantes y no claudicar, de tal manera que el paradigma jurídico en el cual se debe inspirar la nanobioética se articule con la nanobiopolítica y no pierda el sentido moral de la ley, que se fortalezca de tal forma que sea parte insoluble de la política pura, así no agotará su horizonte en las cuestiones procedurales o

en la mera garantía de derechos, si no, por el contrario, se va a expandir, consolidándose como una ciencia altruista y pura, pues se dice en el caso de la bioética, que ésta no ha sido integrada todavía a una reflexión acerca de la técnica contemporánea. Esta última es, nada más y nada menos, que su propia condición material de posibilidad, y la nanotecnología abre el camino para que sea integrada en su totalidad a los procesos jurídicos en pro de la vida.

De lo anterior se deduce que surgirá un miedo hacia la nanobiopolítica, que será consecuencia de un antiguo sistema político corrupto en el que el favor político se inclina hacia los ricos y hacia la privatización de la vida sin medir las consecuencias a futuro. Citando las palabras David Hume, “si todos los hombres tuvieran suficiente sagacidad para percibir, en todo momento, el fuerte interés que les liga a la observancia de la justicia y equidad, y suficiente fuerza de ánimo para perseverar en una adherencia estable a un interés general y distante, en oposición a las tentaciones del placer y ventaja del presente, no habría existido, en ese caso, tal cosa como un gobierno o una sociedad política; sino que cada uno, siguiendo su libertad natural, habría vivido en entera paz y armonía con los demás... El único fundamento del deber de obediencia es la ventaja que procura a la sociedad preservando el orden y la paz entre los humanos”.

Es claro que la ciencia debe estar al servicio del hombre. Sin embargo, ¿Por qué en ocasiones el hombre tiene miedo a lo que la ciencia pueda hacer con él? Quizá porque piensa que a veces existen hombres que consideren su ciencia como un valor absoluto en la teoría, o en la práctica. Este problema

alcanza unas dimensiones peculiares cuando aborda los campos de la vida biológica del hombre, de su ser íntimo genético, de su salud, de su enfermedad, o del entorno necesario para su subsistencia. Las diversas motivaciones que hoy día concurren para el avance de la ciencia a nanoescala deben ser tenidas en cuenta, pero nunca olvidar el aspecto ético y moral. La nanopolítica como la nanobioética son ciencias nuevas multidisciplinarias, porque convocan a las ciencias relacionadas con la vida a sentarse a la mesa para dialogar sobre cómo contribuir a evitar lo que eventualmente puede afectar dramáticamente al ser humano y a la sociedad. En este punto está la esencia del ser bioético, velar por que la nanotecnología sea utilizada en pro de la vida, y no en contra de ella.

Existen unos derechos civiles y políticos que la biopolítica acoge con beneplácito, ya que calan dentro de la categoría especial del “Derecho Internacional de los Derechos Humanos”. Este plexo normativo incorpora los derechos económicos, sociales y culturales, y los derechos de tercera generación (derecho al desarrollo, a un medio ambiente sano, a la paz). Estos últimos no tienen por ahora consagración en instrumentos obligatorios, como sí la tienen las dos categorías previamente mencionadas en tratados multilaterales que gozan de amplia adhesión por la comunidad de naciones (9).

Es importante hacer notar que los derechos humanos también se encuentran legislados de forma interna en todos los estados, particularmente en las constituciones modernas, en la parte de derechos, deberes y garantías. Como signatarios de los tratados multilaterales de derechos humanos, los estados se comprometen a incorporar estos

derechos al derecho interno, lo cual hacen también a través de actos legislativos o por decisiones judiciales (en los casos en que el sistema nacional admite la implementación directa de normas de tratados). En América Latina, la tendencia más reciente ha sido a incorporar los tratados de derechos humanos en su totalidad al texto constitucional, dándoles así un rango superior al de la ley interna. Así, la nanobiopolítica es otro elemento que se debe considerar en el contexto de los Derechos Humanos, porque no sólo integra todos los derechos antes mencionados, sino también los consagrados dentro del catálogo de derechos civiles y políticos, con la atenuante de que su cubrimiento se extiende desde lo más pequeño (escala nano), pasando por lo micro hasta lo macro.

Visto de esta manera, la nanobiopolítica no debe tomarse a la ligera, porque integra no sólo los Derechos Humanos, sino el derecho de todo sistema viviente a ser respetado sólo por existir dentro de la naturaleza y ocupar un lugar de privilegio dentro de la misma. También abarca el derecho potencial del respeto de los sistemas vivos artificiales a existir; claro está, bajo ciertas condiciones sobre las cuales debe legislarse, y una de esas condiciones es la de determinar qué sistemas artificiales no van a entrar en conflicto directo o indirecto con los nichos naturales o con el propio hombre.

NANOBIOÉTICA

La palabra “bioética” fue acuñada en 1971 por Van Rensselaer Potter en su libro *Bioethics: bridge to the future* (10), y con ella engloba la disciplina que combina el conocimiento biológico con el de los valores humanos. La *Encyclopedia of Bioethics* define “bioética” como “el estudio sistemático de la conducta

humana en el área de las ciencias de la vida y del cuidado sanitario, en cuanto que tal conducta se examina a la luz de los valores y de los principios morales”. Actualmente la bioética abarca no sólo los aspectos tradicionales de la ética médica, sino que incluye la ética de los avances en biomedicina, la ética ambiental, con los debates sobre los derechos de las futuras generaciones, desarrollo sostenible, etc.

Existen muchas definiciones de bioética, que convergen prácticamente a un mismo objetivo que es la vida. “A la bioética, como disciplina, le corresponde una unidad pragmática determinada por un conjunto abierto de problemas prácticos nuevos (no sólo éticos, sino morales y políticos: la bioética arrastra desde su constitución la confusión con la biomoral y, por tanto, con la biopolítica) que giran en torno a la vida orgánica de los hombres y de los animales, y por un conjunto, también abierto, de resoluciones consensuadas por las instituciones competentes, desde los comités asistenciales de los hospitales hasta las comisiones nacionales o internacionales que suscriben algunas de las citadas resoluciones o convenios” (11).

La Nanobioética la defino como el Bios del Ethos a pequeñas escalas (Ética de la vida a nanoescala). Es la ciencia que protege la vida no sólo desde el aspecto celular sino también atómico y molecular, sumado a que es pieza fundamental para analizar la emergencia de los sistemas artificiales, de su interacción con el medio ambiente y de su evolución en el espacio tiempo. La nanobioética explora los mismos linderos que la bioética contemporánea, en la que existe una relación íntima con la sociedad civil, más aun en esta revolución tecnológica y nanotecnológica, que constituye un gigantesco esfuerzo para encontrar

respuestas a las innumerables inquietudes generadas por la dimensión tecnológica de la sociedad actual, que necesita analizar y buscar solución a nuevos problemas, dejando de lado todo tipo de intereses económicos en pos de un desarrollo óptimo de toda la sociedad por igual. Para ello se basa en conceptos como los sistemas no lineales emergentes, para explicar la vida desde sus primeras etapas de origen y evolución.

Las características fundamentales de la bioética están constituidas por el pluralismo, el multiculturalismo y la transdisciplinariedad. Por lo tanto, surge un nuevo espacio de confluencia de saberes en el que se subraya la necesidad de respetar la multiplicidad de las voces. En este contexto pluralista, el diálogo y la tolerancia son ingredientes fundamentales, con la necesaria prudencia por un lado y la inevitable osadía por el otro. Desde este punto de vista, es importante señalar, para evitar equívocos sobre el estatuto epistemológico de la bioética, que ésta nació basada en el pluralismo existente de hecho en las sociedades democráticas, en el respeto por las opciones libres, soberanas y conscientes de los individuos y de las sociedades humanas, siempre que dichas decisiones no avasallen la libertad y los derechos de los otros individuos y de las otras sociedades y no por la necesidad de reglamentar o legalizar todo y, mucho menos, basada en las prohibiciones y vetos como si fuese una «ética del no». Para ella, lo esencial es la libertad con compromiso y responsabilidad (12).

La Nanobioética como la bioética se desarrollan en el ámbito de la ética de la sociedad civil, llamada también ética cívica, que surge en el seno de una sociedad plural democrática, en la que pueden convivir distintos modos de pensar y diversas creencias

que exigen la construcción de una ética civil, es decir, una ética de mínimos que puedan ser compartidos por todos los miembros de dicha sociedad. Es una ética racional, plural y laica. Indaga la dimensión ética de la vida humana en cuanto ésta tiene repercusión en la sociedad civil. Dichos principios serán fundamentales cuando la nanotecnología evolucione lo suficiente como para entrar en interacción directa con la vida natural y el propio hombre. Por lo tanto, las definiciones hechas por grandes pensadores contemporáneos sobre la bioética es extensible a la nanobioética.

La escala de trabajo de la bioética está en el orden microscópico y mesoscópico, y deja de lado la escala atómica y nanométrica. En este caso, la nanobioética entra en acción ampliando de paso los campos de la bioética, afrontando nuevos retos sobre la búsqueda de respuestas a los planteamientos de la nanotecnología sobre la vida. Ahora, muchos de los problemas bioéticos (nanobioéticos) son en realidad problemas culturales, “porque nuestra manera de percibir cuáles son y dónde están los valores que consideramos básicos viene configurada por nuestra manera de ver el mundo” (Adela Cortina). En este sentido, por ejemplo, la sociedad de consumo individualista tiende a ver como “mal adaptados” a las gentes de los países subdesarrollados, ya sea por su cultura, religión, lenguaje, raza, etc. Sin embargo, lo que está mal adaptado es el entorno, incapaz de acoger, integrar y aceptar a estas sociedades tales como son, más aun cuando la tecnociencia está abriendo brechas cada vez más profundas entre los países ricos y los países pobres. Y de ahí proviene el gran peligro del desarrollo desenfrenado de la nanotecnología en los países desarrollados, porque la delantera

con respecto a los países en desarrollo es cada vez mayor, lo que establece una gran disyuntiva sobre las políticas internas de I+D sobre esta ciencia.

Esto conduce a admitir que, necesariamente, la evaluación de la tecnología ha de politizarse para ser operativa, y plantea una cuestión de si las democracias representativas existentes están preparadas para dar cabida a algún tipo efectivo de gestión participativa de la nanotecnología. La estructuración cognitiva e institucional hacen que el cambio tecnológico sea complicado, pero no imposible: el estudio de casos históricos muestra que es posible en principio modificar las trayectorias tecnológicas mediante la acción concertada de diversos actores sociales y el aprovechamiento de coyunturas favorables. Los experimentos de aprendizaje social deben considerarse como ámbitos en los que se especifican las tecnologías, se definen las necesidades sociales y se ponen a prueba las representaciones de los usuarios. Requieren que se facilite toda la información a todos los participantes; y si queremos que sean operativos, seguramente habrá que crear imaginativas instituciones no controladas por ningún grupo de poder o de presión, que tengan influencia real a la hora de configurar el control político sobre la nanotecnología. Igualmente se requieren nuevos modelos teóricos que permitan facilitar la respuesta a la pregunta de cómo evitar el atrincheramiento social de ciertas tecnologías o la pérdida de opciones positivas debido a que otras alternativas no

sean debidamente valoradas como son las nanociencias y la nanotecnología.

Para el caso de la nanotecnología, involucrando la nanobioética, es fundamental la evaluación de riesgos relacionado directamente con la interferencia con la naturaleza, el mal uso de la nanotecnología e impactos negativos sobre la salud y el medio ambiente.* Tener en cuenta el impacto de la tecnociencia en la sociedad y el control social en la tecnociencia. Otros apuntan que se debe contemplar la finalidad de nuestras sociedades. Que es quizá el punto más importante y el más difícil de implantar políticamente, ya que supone realizar una crítica social acerca de los valores explícitos e implícitos que nos guían, incluyendo la imagen del hombre y sus necesidades y deseos en un sistema en el que se han enquistado numerosos prejuicios que a menudo sirven a intereses minoritarios (pero controlados por poderosas fuerzas políticas y económicas).

Pensar que la ley permanezca silenciosa sobre ciertos temas de la nanotecnología no es viable, ya que conlleva implicaciones muy serias en la vida en todo el planeta. Por ejemplo, tarde o temprano deberá contestar preguntas como: ¿Tendrá consecuencia alguna el crear vida gris o vida digital que paulatinamente releguen la vida natural?; ¿cómo será afrontada la economía mundial, cuando los bienes y servicios se obtengan por medio de la nanotecnología y los intercambios económicos sean historia?; ¿qué tendría que decir la ley al respecto?

* Los modernos estudios de percepción pública de riesgos asociados con tecnologías se centran en los modos en que los individuos aprenden sobre su entorno a través de la experiencia. Se pueden distinguir cuatro enfoques: cognitivista, psicosocial, cultural y sociológico.

Desde los enfoques culturales se plantea que las creencias sobre la naturaleza y sobre el riesgo están socialmente

construidas, de modo que cada grupo tiende a percibir distintos tipos de riesgos. Desde los enfoques sociológicos el riesgo se define en función de amenazas a modos de vida y estructuraciones sociales. Está más relacionado con la identidad sociocultural, los valores morales o las relaciones socioeconómicas. En estos enfoques se tiene en cuenta la valoración de los distintos grupos, y no sólo el papel de

CONCLUSIONES

Es evidente que la nanotecnología va a protagonizar una muy importante revolución científica, económica y sociocultural en este siglo XXI, dados los trascendentales efectos que a todos los niveles originarían los avances en esta disciplina. Tal como se plantea manejar la nanotecnología, la evolución de la vida continuará con o sin la mano del hombre. Podríamos pensar que ¿podremos continuar con nuestra evolución o nos estancaremos como especie? Pienso, al igual que Teilhard de Chardin y Christian de Duve, quienes plantean que la evolución no sólo es un hecho en nuestras vidas, sino que es el proceso para llegar al propósito del cosmos. Si el hombre se desarrolla o no, la vida continuará. Citando las palabras del poeta norteamericano Rodney Jones: *Y pienso ahora, cómo el planeta puede volverse contra nosotros, como cuando un dedo se levanta del vaso y el agua recobra su forma.*

La evolución no parará con la muerte o la extinción masiva del hombre. De cualquier manera está definitivamente en retroceso, un irreparable retroceso para ambos, para él y para la naturaleza. Si queremos revertirlo, nuestra única herramienta es el progreso de la cultura, no en el retroceso de la ciencia y la tecnología, como plantean algunos, no en la manera especializada en la cual la cultura se ha desarrollado desde el Renacimiento, sino de una manera integrada, para que la conciencia llegue a ser no solamente unificada sino que alcance lo más alto, y podamos, como especie, asistir a la consecución del objetivo del universo (13).

La ética y ciencia están en rumbo de colisión. Según pasamos de ciencia ficción a realidad, se cierne un enfrentamiento similar al que se ha

producido con los organismos modificados genéticamente, señala Peter Singer (14), y agrega que para evitar la situación producida con la biotecnología hace falta “una urgente discusión pública sobre los beneficios y riesgos de esta tecnología.”

He tratado de mostrar las implicaciones de la nanotecnología en la vida por medio de planteamientos de eminentes científicos mundiales y, por su puesto, de los míos propios. Hasta ahora las discusiones públicas con miras a analizar las implicaciones éticas, morales y bioéticas de la nanotecnología en la vida van a paso lento, y se hace imprescindible para toda la comunidad mundial conocer los beneficios y posibles riesgos que traerá esta ciencia emergente.

En el caso de la nanotecnología, es urgente analizar a fondo las implicaciones que tendrá ésta en la vida, aunque estamos a tiempo de ello. Singer y Daar creen que es posible enmendar los errores cometidos con la biotecnología y aprovechar las ventajas que ofrece la nanotecnología. No desconozco esta afirmación, pero creo que también debemos mirar las desventajas y establecer un estudio serio al respecto, con miras a preveer futuros desastres de magnitudes catastróficas –de ahí el papel de la nanobioética y la nanobiopolítica, el cuidado de la vida es el cuidado de la no vida.

Se espera que la nanotecnología sea una herramienta poderosa en el mundo de la ciencia y la tecnología actuales y futuras, y de una u otra manera impondrá nuevas reglas sobre el estilo y calidad de vida en los seres humanos, y en general de todos los seres vivos. Le queda un reto titánico a la nanobioética en conjunto con la nanobiopolítica, abordar las implicaciones de la nano-

tecnología con la vida, y que más que poder mostrar por medio de este trabajo una forma en la que nos permita comprender la emergencia de la vida en un sistema artificial fruto de la nanotecnología y, a la vez, formular nuevos paradigmas concernientes a la forma de definir y ver la vida. Por ejemplo, existen actualmente varios proyectos encaminados a la creación de vida artificial, y se espera obtener los primeros especímenes antes de diez años. Es sólo cuestión de tiempo para que tengamos en nuestro entorno animales o microorganismos que no existen en la naturaleza.

Estamos en un período espacio - temporal interesante; podría afirmar que en cierta medida somos favorecidos, ya que estamos en un momento histórico sin precedentes, en el que podemos determinar cuál va a hacer el destino de la vida en el planeta Tierra. Llevar la ciencia y la tecnología a nuevos peldaños de desarrollo en el cual toda la humanidad se beneficie o, por el contrario, enmarcarlo en un sistema decadente en el que unos pocos saquen provecho de ello y terminen por hacer colapsar la vida.

REFERENCIAS

1. Doolittle, Ford. Unrooting the Tree of Life. *Scientific American*, Nueva York, February 2000: 282(6): 90-95
2. Kauffman A. Antichaos and Adaptation. *Scientific American*, 1991, agosto, p. 64.
3. Levy D. Chaos Theory and Strategy: Theory, applications and Managerial Implications *Strategic Management Journal* 1994; (15): 176.
4. Lévy P. Las tecnologías de la inteligencia. Editorial Edicial; 2000.
5. Foucault M. La gouvernementalité. *Dits et Écrits*, Tome IV. 1994: 641-642
6. Hardt M, Negri A. *Multitude: War and Democracy in the Age of Empire*. Ediciones Exils; 2000.
7. Weber M. *El político y el científico*. Madrid: Alianza Editorial; 1986. p.95.
8. Durand G. *La Bioética*. Bilbao: Desclée de Brouwer; 1992. p. 29-34.
9. Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos (Adoptado por la Asamblea General de la ONU el 16-12-66. Entró en vigor el 23-3-76) y Pacto Internacional de los Derechos Económicos, Sociales y Culturales (Adoptado por la AG de la ONU el 16-12-66. Entró en vigor el 3-1-76. Los derechos de la tercera generación se mencionan sólo en resoluciones y declaraciones sin fuerza obligatoria, con fines de promoción.
10. Van Rensselaer P. *Bioethics: Bridge to the future*. New Jersey: Prentice Hall; 1971.
11. Bueno G. ¿Qué es la Bioética? *Biblioteca Filosofía en Español*. Diciembre, 2001.
12. Parenti F. *Bioética desde América Latina*. Universidad Nacional del Rosario. Rosario (Argentina). 2003; 4 (1):
13. Teilhard de Chardin P. *El fenómeno humano*. Traducido por M. Crausafont Pairó Madrid: Taurus Ediciones; 1963. p.104.
14. Singer P. *Una izquierda darwiniana. Política, evolución y cooperación*. Barcelona: Crítica; 2000.