

RESUMEN

La ciencia contemporánea ha abierto una dimensión amplia de la realidad, a saber: el universo microscópico. Esta dimensión de la realidad comprende, hasta ahora, las escalas milimétricas, micrométricas, nanométricas, picométricas, atométricas y femtométricas de la realidad. Por tanto, un doble reto emerge. Se trata de determinar cómo hemos de comprender a estas escalas y cuál es su relación con el universo macroscópico. La primera respuesta que aporta este artículo afirma que el universo microscópico puede ser comprendido como nanología. La segunda respuesta sostiene que el problema mismo de las relaciones entre lo microscópico y lo macroscópico constituye la tarea actual de la filosofía y, más exactamente, de la filosofía de la ciencia. Hacia el final, se llama la atención acerca de las contribuciones que la lógica cuántica puede hacer cuando se trata de los temas considerados aquí.

Palabras-clave: Filosofía de la ciencia, nanotecnología, mundo microscópico, lógica cuántica, revolución científica.

THE PHILOSOPHICAL DIMENSION OF THE NANOWORLD: NANOLOGY

Contemporary science has opened up a vast range of reality, namely, the microscopic universe. This range of reality encompasses, so far, the millimetric, micrometric, nanometric, picometric, attometric and femtometric scales of reality. Hence, a deep and serious twofold challenge arises, thus: how are we to understand these scales? and how are they related to the macroscopic universe? This paper focuses on these two questions and gives some arguments to answer them. The first answer is that the various levels of the microscopic universe can be grasped as nanology. The second answer states that the very question about the relationship between the macroscopic and the microscopic is the current task of philosophy; and more particularly, of philosophy of science. At the end, special attention is put to the contributions and meaning of quantum logic, when studying the issues raised here.

Kew-words: Philosophy of science, nanotechnology, microscopic world, quantum logic, scientific revolution.

¹ Profesor Titular de la Universidad del Rosario, Bogotá. E-mail:
carlos.maldonado44@urosario.edu.co

I

La nanotecnología es, claramente la tecnología del presente, y con él, del futuro inmediato². La biotecnología, como tal, ha dejado de ser tecnología de punta, y si puede ser adoptada como investigación de punta es en el marco, amplio, que la integra con la tecnología de escala nanométrica. La forma como ello se logra es, como es sabido, en términos de las tecnologías NBIC – nano, bio, info y cognotecnologías.

Ahora bien, dado que no hay dos cosas – ciencia y tecnología-, sino una sola (pues el contraste más fuerte puede hacerse, de un lado, con la técnica, y de otra parte, con el arte (o las artes)-, el concepto más adecuado debe ser el de tecnociencia; y referido a la ciencia y a la tecnología nanoescalar, el concepto más adecuado es el de nanotecnociencia. (Sin embargo, en general, el concepto de tecnociencia –que nace en 1982 como una contribución de G. Hottois – difícilmente ha sido reconocido o incorporado en los estudios y análisis en general sobre ciencia y tecnología).

La nanotecnociencia es ciencia de la escala nanométrica, pero abierta, por definición, a espacios de contigüidad sugestivos y magníficos. Estos espacios se refieren a los componentes del mundo microscópico, y que son las escalas micro, pico, la propia nano, la atto y la femto. Desde este punto de vista, en rigor, la designación de la nanología sirve como hilo conductor no solamente para estudiar todos los fenómenos que suceden en la escala 10^{-9} , sino, justamente por contigüidad, aquellos relativos a las escalas inmediatamente mayores e inmediatamente menores, que van desde 10^{-3} hasta 10^{-18} . Nanología, así, es el concepto técnico que comprende y describe a la variedad de espectros del universo microscópico.

Cuadro 1 – Escalas del universo microscópico.

Escalas métricas	
Mili	10^{-3}
Micro	10^{-6}
Nano	10^{-9}

² Este artículo forma parte de una investigación que adelanto actualmente en la Universidad del Rosario, dedicado, en general, a las ciencias de la complejidad, gracias al apoyo del FIUR de la Universidad. Una primera versión fue leída en el II Coloquio Peruano de Filosofía de las ciencias “Problemas epistemológicos en Ciencias Sociales”, organizado por Diaporein Círculo peruano de investigaciones filosóficas y transdisciplinarias los días 10 y 11 de octubre en el Auditorio principal de la Facultad de Letras y Ciencias Humanas, UNMSM, Lima.

Pico	10^{-12}
Atto	10^{-15}
Femto	10^{-18}

Como quiera que sea, los campos de trabajo y aplicaciones de la nanotecnociencia son variados y crecientes, abarcando desde los temas y problemas del medioambiente, a los de la física y la ingeniería de materiales, la química, la biología y las ciencias de la salud, campos más particulares como la óptica y la industria de las telecomunicaciones, los sistemas computacionales, notablemente. Sin embargo, la nanotecnociencia no se restringe a las ingenierías y a las (mal) llamadas ciencias naturales y básicas, sino, adicionalmente, incluyen e interpelan también a ciencias sociales y humanas, tales como la ética, la sociología – por ejemplo, la sociología del conocimiento-, la filosofía y la historia –tal es el caso de la historia de la ciencia y la tecnología y, muy recientemente, a los estudios culturales, como en el caso de los estudios sobre ciencia, tecnología y sociedad. El tema grueso de estos estudios y consideraciones constituye el significado social de la nanología pero se deriva también directamente de las dimensiones info, bio y cognitivas de las NBICs. Ahora bien, si esta consideración tiene sentido entonces habría que hablar en rigor de NBICS, algo que en el estado actual de las investigaciones no existe y suena forzado. Tal es, exactamente, el principal tema de lo que puede y debe ser, en el sentido más amplio de la palabra, una filosofía de la nanotecnociencia (Maldonado, 2007).

Si tal es el panorama – amplio y creciente – de la tecnociencia de punta, desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia, de la epistemología y la historia de la ciencia y la tecnología, entonces habría espacio para el establecimiento de una nueva ciencia o, como quisiera decirlo mejor aún, de un programa de investigación: la nanología. No obstante, este panorama justificativo, son, en realidad, mucho más sólidas y contundentes las razones que dan lugar a la emergencia y fundamentación de la nanología. Estas razones se compendian en un título, a saber: la consolidación de una auténtica dimensión de lo real y lo posible – al mismo tiempo –, y que denominamos genéricamente como la escala nanométrica. Puntualmente dicho, la nanología es el título que designa la integración entre nanotecnología y la biología; más específicamente, la conjunción entre biología “húmeda” y semiconductores “secos”. Con este texto quisiera considerar las que considero son las implicaciones filosóficas más importantes de la nanología, que, al mismo tiempo, sirven como legitimación del neologismo³.

³ El concepto de nanología ya existe en otros idiomas – italiano y francés, notablemente-, aunque no en español. Es claro que el empleo de neologismos constituye uno de los rasgos que marcan el progreso de la ciencia. Pero con ella, el tema interpela también, necesariamente, a la filosofía de la ciencia.

II

En la historia del universo los dos acontecimientos más radicales y de gran alcance han sido, primero, la transformación de la energía en materia, y luego, la transformación de la materia en vida. El primer evento tuvo lugar alrededor de los tres primeros minutos de existencia de este universo, luego del Big Bang (C. P. Davis, S. Weinberg). El segundo acontecimiento tuvo lugar alrededor de hace 4.500 millones de años.

Los seres humanos hemos creído que existe un tercer evento de la misma envergadura que los dos anteriores. Se trata de la especiación que separó al homo sapiens de sus parientes los homínidos, y que incluyen al Australopithecus, el homo habilis, el homo erectus, el homo ergaster, el hombre de Pekín y los neanderthales. Este acontecimiento tuvo lugar alrededor de hace un millón de años. I. Tattersall y más recientemente, desde otra perspectiva F. Fernández-Armesto, por ejemplo, han arrojado buenos argumentos al respecto. El resultado de este tercer evento fue la producción de cultura, en el sentido más amplio y fuerte de la palabra – ritualidad y mito, escritura, política, economía, sociología, guerra, violencia, filosofía, literatura, poesía, música, y demás.

Pues bien, podemos pensar, con la mayor plausibilidad, que a partir de la segunda mitad del siglo XX se empieza a producir un cuarto gran evento en la evolución del universo. El cuarto acontecimiento está caracterizado por la producción de nuevos materiales – notablemente, materiales sintéticos a partir, incluso, de elementos sintéticos identificados en la tabla de elementos químicos –, y la producción de vida, distinta, análoga pero emergente a la vida conocida hasta la fecha que es vida basada en el carbono. Se trata de la vida artificial. Las expresiones puntuales de este cuarto acontecimiento con su dúplice faceta se concentran en los nuevos materiales, física e ingeniería de materiales, sistemas expertos, robótica, inteligencia artificial y vida artificial.

En otras palabras, toda la atención que en toda la historia del tercer evento se le prestó al universo – por lo menos en esa historia que termina identificando a la historia de Occidente con la historia entera de la humanidad –, fue en y hacia el universo macroscópico. El atomismo griego, por ejemplo, nunca ocupó un lugar de primer rango en la historia social, cultural, intelectual y política de Occidente. Y las variaciones del atomismo ocuparon siempre lugares secundarios en la historia de la ciencia y la filosofía.

En contraste, es claramente a partir del siglo XX, y más exactamente a partir de la segunda mitad, cuando el universo microscópico puede alcanzar, por así decirlo, un estatuto análogo al que tenía y tuvo el universo macroscópico. Esta es la historia, más que de la física de partículas, de la biología molecular. Hay un elemento que quisiera resaltar para que ello hubiera sido así, y que constituye una de las hebras de la nanología: la formulación de la teoría matemática de la información (Shannon y Weaver), que contribuye a poner de manifiesto que lo que lo sucede en realidad en

el universo microscópico son fenómenos de comunicación e información y no ya estrictamente materiales. Mejor aún, el problema fundamental de la conexión –por ejemplo, la correspondencia, la complementariedad, la unión o la intersección entre el universo macroscópico y el microscópico contiene manifiestamente elementos de interpretación, información y comunicación. En una palabra, el problema no es el de las relaciones de primer orden entre ambos universos, sino si lo que dicen las leyes de uno, o si las explicaciones que se alcanzan en uno, o incluso si los fenómenos, procesos y dinámicas de uno, pueden ser traducidas al otro. No en última instancia, en la segunda mitad del siglo XX una de las lógicas que nace a partir de este problema es la lógica de la analogía. La analogía puede ser, como efectivamente lo es, uno de los modos de traducción, conmensurabilidad y comunicación entre escalas, dimensiones, realidades distintas.

En cualquier caso, el eje o el atractor, por así decirlo, del cuarto evento en la evolución del universo es la nanotecnociencia y, más generalmente, las tecnologías NBIC (nano-bio-info-cogno tecnologías) gracias a la dúplice articulación consistente en la producción, ensamblaje y diseño de nuevos materiales y de vida. (En realidad la dimensión cognitiva de la nanología hace referencia a las ciencias cognitivas, y por derivación, desde el punto de vista filosófico, a la filosofía de la mente).

Sin embargo, ¿no sería presuntuoso y demasiado inmediato – específicamente con relación a los tres primeros acontecimientos y a sus escalas temporales- la introducción de este cuarto evento? En la respuesta a este interrogante va todo el sentido de la nanología.

III

Para abordar e intentar resolver el interrogante formulado, quisiera incorporar, en el marco de la historia y la filosofía de la ciencia, una versión de la teoría de la historia; me refiero a las contribuciones que la obra de R. Koselleck (1993) permite para estudiar el tema formulado⁴. De acuerdo con este autor, el aspecto menos estudiado y más sugestivo en las conexiones entre historia, presente y futuro consiste en estudiar el futuro correspondiente a las generaciones pasadas. En esto exactamente consiste el futuro pasado, es decir, en el futuro que el pasado crea y entrevé –incluso aunque sea de manera indirecta e inconscientemente. Pues

⁴ Además del libro mencionado de Koselleck en la bibliografía, véase, del mismo autor, *historia/Historia*, Madrid, Trotta, 2004, y *Crítica y crisis. Un estudio sobre la patogénesis del mundo burgués*, Madrid, Trotta/Universidad Autónoma de Madrid, 2007. Estos dos libros constituyen al mismo tiempo desarrollos y aplicaciones, por así decirlo, de la idea fundamental del futuro pasado de Koselleck.

lo verdaderamente significativo consiste en el hecho de que siempre hay elementos, patrones, rasgos que permiten anticipar el presente, por así decirlo y desde él y con él, también el futuro. El futuro se teje de maneras sutiles en el pasado, con todo y el reconocimiento de que los seres humanos hacen la historia aunque no siempre la hacen de la manera como hubieran deseado o lo tenían planeado. Creo que la historia de la ciencia – y por extensión la filosofía de la ciencia – puede recordar, de tanto en tanto, esta idea como una manera para reconocer antes que las deudas y tradiciones, las historias y los legados, además y principalmente las novedades, los cambios, las originalidades e inflexiones. Esto se ilustra mejor con la cuarta revolución mencionada, la de la nanología, justamente.

En otras palabras, es importante desarrollar la capacidad de leer la escala histórica del presente o, como decía Marx, tener la capacidad de anticipar el presente. Este reconocimiento adquiere un cariz dramático cuando, en el marco de la investigación científica y filosófica, se plantea como el conocimiento y apropiación de, tanto como el trabajo con, el conocimiento de punta: ciencia de punta (*spearhead science*).

En este contexto, es preciso reconocer la dificultad consistente en diferenciar la historia del presente. Más concretamente, el reto consiste en distinguir la historia –que es futuro pasado, en los términos de Koselleck, y la política. Por ejemplo, la política científica y las políticas del conocimiento de la investigación orientada hacia el corrimiento de las fronteras del conocimiento⁵. Puntualizando:

- a) El presente tiene conciencia de la radicalidad de los acontecimientos que están teniendo lugar, y de que se está produciendo una ruptura. Digámoslo más radicalmente, una revolución. Esto es, justamente, el presente tiene conciencia del significado histórico de los actos y procesos que están teniendo lugar y se comprende a sí mismo, en contraste con el pasado, y de cara al futuro o futuribles que se abren;
- b) Existe y se traza un contraste con la historia pasada. Este contraste se establece, en términos técnicos y tecnológicos como nuevos equipamientos, en términos lingüísticos como el recurso a neologismos y nuevas metáforas, y en términos sociales, como la incorporación de nuevas formas de organización del conocimiento. La nanotecnociencia y la investigación sobre el mundo microscópico y el problema de las relaciones entre el mundo microscópico y el macroscópico cumplen con estas condiciones;

⁵ Estoy traduciendo el lenguaje que Koselleck emplea, en otro contexto, para distinguir la historia de la Historia. La analogía es, aquí, rigurosa. Cfr. Koselleck, *historia/Historia*, op. Cit.

- c) Sacar motivos, a partir del pasado y del presente, para lanzarse hacia el futuro. Esta idea hace que la nanotecnociencia se sitúe en algún lugar intermedio entre las ciencias de materiales, la vida artificial, las ciencias de la salud y las ciencias de la complejidad. Buena parte de la bibliografía sobre nanotecnociencia y femtoquímica, por ejemplo, corren en esta dirección.

Mediante la cuarta revolución – la del mundo microscópico y sus relaciones con el mundo macroscópico: nanología –, es posible comprender de qué manera la historia de la ciencia en general consiste en un proceso de complejidad creciente que, por consiguiente, no puede describirse cabalmente dividiéndola en subsistemas o descomponiéndola en aspectos definidos de antemano. Pero si ello es así, entonces podemos inscribir a la historia de la ciencia en el marco, más amplio, de la “gran historia” (*big history*), por lo menos en el sentido adelantado por D. Christian (2005), y que empata perfectamente con los lineamientos adelantados por Koselleck. La historia humana, la historia de la ciencia, la historia de la vida, en fin, puede y debe ser vista como una dimensión de una densidad magnífica.

En otras palabras, a la vez que reconocemos las escalas que articulan la dimensión micrométrica en general –mili, micro, nano, pico, atto, femto- se trata, en realidad, de avanzar mediante la construcción de síntesis a través de la cuales nos encontramos en la capacidad de elaborar un panorama de grandes corrientes y tendencias. Creo que, en marcado contraste con la tradición de la filosofía de la ciencia en la línea de Reichenbach, Carnap o Popper, por ejemplo, la filosofía de la ciencia de las nuevas tecnologías – NBIC –, y de las nuevas ciencias –de la vida, de la complejidad y demás-, puede llevar a cabo contribuciones significativas trabajando en este sentido señalado. Ello no impide, desde luego, reconocer que cada escala o nivel posee sus propias reglas, como es efectivamente el caso.

IV

Toda ciencia tiene una escala y una dimensión temporal. Recientemente I. Wallerstein, I. Prigogine y otros (2006) nos han recordado esta idea (Informe de la Comisión Gulbenkian, *Abrir las ciencias sociales*). Así, la ciencia, como la cultura en general, debe y puede estudiarse en función de la perspectiva, la dimensión o la densidad temporal que contienen y que permiten.

En mayoría de las ciencias –en un sentido amplio y generoso-, son ciencias del presente, en el sentido preciso de que se ocupan de lo real como tal como donación presente, y tienen claros y justificados intereses de medición, aplicación, intervención y cálculo. Usualmente esto sólo puede hacerse de lo que es real y presente.

En un sentido más amplio, hay ciencias del presente. Los ejemplos más conspicuos son la política, la sociología, la antropología y la economía, en un plano, y la genética, la química, la óptica y las ciencias computacionales, en otro plano. Ahora, desde luego que es posible siempre introducirles, como es efectivamente el caso en muchas situaciones, perspectivas históricas a las ciencias del presente. De hecho, de acuerdo con Wallerstein, justamente de eso se trata a propósito de un ejercicio reflexivo y crítico con respecto a las ciencias. Creo que Prigogine estaría de acuerdo con esta perspectiva.

Asimismo, hay ciencias del pasado o como mejor vale decirlo, ciencias históricas. Los ejemplos más claros son la historia, la geología, la biología evolutiva, la demografía, la arqueología, la paleontología, la paleobiología y la farmacéutica, por ejemplo.

Ahora bien, en el pasado – notablemente en el pasado inmediato y que hace referencia a la modernidad – hubo incluso ciencia sin tiempo. El mejor ejemplo, si hemos de creerle a I. Prigogine, fue la física; notablemente la mecánica clásica, que es un caso particular de la teoría de la relatividad y, en otra escala, de la mecánica cuántica Y con la física, todas las demás ciencias que se derivaron a la manera de o a la luz –aunque en realidad habría que decir mejor a la sombra- de la física. En este juicio entra, en realidad, la idea gruesa de toda la ciencia clásica, es decir, aquella que nace después del Renacimiento y hasta hace poco y que se comprende como ciencia moderna – en marcado contraste con la ciencia contemporánea. La teoría de la relatividad y la mecánica cuántica forman parte, así, también de la ciencia moderna.

En contraste, la ciencia contemporánea es ciencia que sabe del tiempo, esto es, ciencia que sabe de la flecha del tiempo, ciencia de escala y densidad temporales. Dicho de una forma genérica, la ciencia contemporánea es ciencia que se dirime entre la flecha del tiempo de la termodinámica clásica y la flecha del tiempo de la evolución y los sistemas vivos. Esta, sin dudas, constituye una importante inflexión al interior del tercer evento considerado antes arriba. Podríamos decir incluso que es este mismo reconocimiento el que se encuentra en la base de los motivos que dan lugar a la emergencia del cuarto acontecimiento considerado.

En efecto, la nanotecnociencia es ciencia y tecnología que abre futuros, y los abre de manera explícita y consciente. Más radicalmente, la nanología es ciencia de lo posible y no ya únicamente ciencia de lo real – un rasgo apasionante que comparte con el estudio de los sistemas complejos adaptativos (o ciencias de la complejidad). En este sentido, la nanología es ciencia que se sitúa en una avenida, por así decirlo, perfectamente distinta a la de la tradición aristotélica, dominante en la historia de Occidente y de la ciencia occidental, que es ciencia de lo real.

En términos humanos, la genómica y, verosímelmente, la proteómica, en fin, gracias a, y en términos de, la ingeniería de proteínas – posibles en paralelo y en entrecruzamiento con la nanotecnociencia – han comenzado a producir *una vida extra*, para decirlo con palabras de un libro que recoge pensamientos e

investigaciones de J. de Rosnay, J.-L. Servan-Schreiber y F. de Clossets (2005). Esta vida extra consiste, literalmente, en la implicación tanto de las esperanzas de vida como de las expectativas de vida, con todo y los problemas éticos, políticos, económicos y otros que contienen e implican.

Las consecuencias de una vida extra implican una auténtica bomba con componentes políticos, económicos, mentales, de estilos y estándares de vida. En pocas palabras, con serias implicaciones de orden ético, social y cultural. Desde aquí cabe claramente subrayar el aspecto cogno – cognoscitivo o cognitivo – y social de las NBIC y de la nanología. La ciencia y la tecnología están llevando a cabo una revolución para la cual las instituciones no estaban preparadas. (Bueno, en realidad, las instituciones nunca están preparadas para la revolución. Las revoluciones les acaecen, y las transforman, por tanto. Al fin y al cabo de eso, se tratan las revoluciones; en este caso, las revoluciones científicas y tecnológicas de la investigación en escala nanométrica). Esta revolución consiste en el hecho de que tanto las expectativas como las esperanzas de vida están creciendo a ritmos acelerados y en proporciones inimaginables si se los compara con la mayor parte de la historia humana.

Las NBIC se encuentran en la base misma de una revolución –que es exactamente el cuarto evento mencionado- que convoca y entrelaza de manera directa y necesaria a las ciencias de la salud, las ciencias de la tierra, las ciencias de materiales, las ciencias de la vida, las ciencias de la complejidad y las ciencias cognitivas; en un plano un poco más indirecto, interpelan y entran en sinergia también con las ciencias del espacio. Como se observa, hacemos referencia a ese panorama fascinante que es la constitución de nuevas síntesis de conocimiento y que se caracterizan porque ya no se organizan – ni social, ni epistemológica ni institucionalmente – en torno a criterios disciplinares y jerárquicos, que fue lo que aconteció tradicionalmente alrededor del Liceo, la Academia, la Stoa y la Universitas.

Quisiera decirlo de manera más directa aún. Desde el punto de vista del lenguaje que se usa en nanología, el rasgo más interesante – en contraste con la historia de la ciencia anterior, es el empleo del modal “puede”, “podría”, “podrá” – otro rasgo en común con el estudio de la complejidad –, de tal suerte que ya no se reduce únicamente al modo del indicativo (Garson, 2005). Los argumentos en nanología se desplazan con total naturalidad de la descripción a los argumentos propios de la lógica modal. Las expresiones de esta lógica modal pivotan en torno a las posibilidades de ensamblaje, producción, diseño de nano-entes – por ejemplo, nanorobots, nanopartículas, nanomoléculas y otras. El texto pionero de K. E. Drexler ha sido suficientemente reconocido – y en ocasiones incluso criticado por algunos aspectos especulativos de la nanotecnología. Como quiera que sea, el libro pionero de Drexler sirve como un caso notable para llamar la atención acerca de la importancia de la lógica modal como estructura de pensamiento en nanotecnociencia, algo que nunca ha sido suficientemente puesto de manifiesto. A propósito de la lógica modal,

que tiene una puerta comunicante, por así decirlo, con las lógicas no clásicas, habría y habrá que hablar, en rigor, de las lógicas no-clásicas como estructura de pensamiento de la nanología (y no ya única ni principalmente de la lógica formal clásica; es decir, de la lógica simbólica y la lógica matemática). Asistimos, en síntesis, al mismo tiempo a una modificación y creación de la materia y a una modificación y creación de la vida.

IV

La nanología está atravesada y en numerosas ocasiones constituida por conceptos operativos. En efecto, los conceptos centrales de la nanología –conceptos operativos, digamos; es decir, conceptos que se usan, pero sobre los cuales no existe una reflexión explícita ni directa-, son los de diseño, ensamblaje y producción, por ejemplo, de nanomotores, células nanofotónicas, nanocerámica, metales nanocristalinos, fluorelenos, nanomembranas que ayuden a limpiar el aire y el agua, nanosensores, nanoshells, nanochips, y demás. Específicamente, nuevos campos de trabajo, aplicaciones e investigación ya han quedado abiertos, tales como la fabricación de pantallas y proyección ionizada y de electrones (*ion-beam and electron beam*), litografía de impresión nanoscópica (*nanoimprint*), microscopía de proyección de electrones, manipulación átomo por átomo, electrónica de efecto cuántico, la espintrónica, los sistemas microelectromecánicos, la producción de pirómetros, por ejemplo.

Desde este punto de vista, como se aprecia fácilmente, el trabajo, la investigación y la reflexión sobre nanología están atravesados y catapultados por los conceptos de producción, ensambleje y diseño. En una palabra – puesto en términos de H. Arendt-, no tanto por labor y trabajo como por acción. Así, la nanología es un campo de acción – praxis- humana⁶. La acción humana hace referencia a la libertad de pensamiento y, por derivación, a la libertad de investigación. La libertad se entiende en este sentido no ya en sentido reactivo – acción-reacción –, sino como fundante de horizontes y sentidos. La libertad no responde en este sentido a nada, sino, es la condición originaria que coincide con la vida misma. En la nueva biología y en complejidad conocemos mejor el concepto de autoorganización e incluso, guardadas proporciones, el de autopoiesis. Pues bien, a lo que me refiero es que la nanología implica producción y autenticidad, espontaneidad y origen.

⁶ Aunque el siguiente libro no se refiere, para nada a la nanotecnología o a la nanotecnociencia, lo que su autor menciona acerca de la tecnociencia, relativamente a la gran ciencia, se adecua perfectamente en el análisis que aquí llevamos a cabo. Me refiero a J. Echeverría, *La revolución tecnociencia*, Madrid, F.C.E., 2003.

En este contexto, es importante recordar que la ciencia contemporánea no es ya hoy una posesión, algo que se sepa. Por el contrario, la ciencia es una actividad que se hace haciendo investigación. Nadie puede decirse en el mundo contemporáneo científico(a) que no investigue. Tal es, exactamente, el sentido de las relaciones ciencia-investigación-acción. Sólo que aquí los consideramos en el contexto de la nanología en donde la investigación como acción (Arendt) adquiere un matiz de visos radicales.

Ahora bien, esa clase de acción que es la nanología se lleva a cabo a través de cuatro modos: ensamblaje, diseño, producción e intervención. Ahora bien, si ello es así, entonces la investigación en nanología puede plantear serias dudas y motivos de preocupación por parte de posturas fuertemente iusnaturalistas; es decir, de aquellas posturas que afirman una entrega de la investigación a la naturaleza como un dato de la divinidad.

Estas posturas consisten en una doble tesis: de un lado, el rechazo a la investigación libre y, por consiguiente, el control – jurídico, ético, religioso (en cualquier caso, normativo) – de la ciencia y la tecnología. El caso más reciente de este tipo de rechazos es el que se dirige hacia la biotecnología (ingeniería genética, DNA recombinante, clonación, experimentación con células madre). Pero muchos otros casos pueden mencionarse sin ninguna dificultad a lo largo de la historia de la ciencia, siendo el primero y más famoso el control que el Cardenal Bellarmino (jesuita) impuso sobre Galileo, supuesta el precedente que había representado antes G. Bruno. La bioética ha venido a convertirse, recientemente, en una ejemplificación e instrumentalización de esta primera tesis. De otra parte, la idea según la cual existen dos dominios metafísicamente distintos: el de la naturaleza – sobre la cual es mejor no intervenir demasiado – y la de la cultura, que exige por su parte, de controles y restricciones puesto que está marcada por la limitación y la finitud; peor aún, por la ignorancia y la osadía.

Pues bien, supuesta la doble tesis del iusnaturalismo fuerte, las consecuencias y las implicaciones de la epistemología subyacente a la nanología le provocará a ese iusnaturalismo más de un motivo de reflexión si no de preocupación.

En contra de dicho iusnaturalismo quiero argumentar aquí a favor del hecho de que la evolución ya no simplemente acaece sobre los seres humanos – en el sentido, notablemente, de la selección natural. La evolución está siendo producida, gracias, notablemente, a la tecnociencia, pero en un panorama en el que las artes y las técnicas hacen también lo suyo⁷.

⁷ He trabajado ampliamente esta tesis en: Maldonado, C.E., en: “Construyendo la evolución. Una defensa fuerte de la biotecnología”, págs. 81-104, en: autores varios, *Bioética y biotecnología en la perspectiva CTS*, Bogotá, Universidad El Bosque, 2004; y Maldonado, C.E. *CTS + P. Ciencia y tecnología como política pública y política social*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia/Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología, 2005.

Estamos construyendo la evolución en muchas ocasiones incluso tentativa, exploratoria, experimentalmente. Y en muchas otras ocasiones planificada, planeada, estratégicamente. La complejidad de la evolución cultural radica en el carácter híbrido entre experimentación y plan – tomados en el sentido literal de la palabra, aquella haciendo referencia a procedimientos inductivos y búsquedas locales, éste a la elaboración de mapas mentales y conceptuales y al juego con escenarios.

V

El tiempo ya no es un proceso que nos sobreviene. Si bien es cierto que gracias a esa revolución que fue y ha sido la teoría de la relatividad hemos aprendido que el tiempo se transforma en espacio y el espacio en tiempo, con la nanología estamos comenzando a trabajar –s ociológicamente hablando, en el contexto de la emergencia de la sociedad del conocimiento –, en la escala de producción de tiempo, como producción de horizontes y posibilidades. De eso se trata, después de todo, desde el punto de vista filosófico, de las NBICs. En otros términos, la nanología es investigación consistente en producción de materiales y producción de vida como producción de tiempo – a escalas colosales, relativamente al tiempo cotidiano de los seres humanos normales.

En efecto, por primera vez en la historia de la humanidad occidental, la ciencia y la tecnología están trabajando en escalas temporales magníficas, en programas de investigación que se formulan a cuarenta, sesenta, ochenta, ciento veinte años hacia delante, por ejemplo. Esto es, la investigación científica y tecnológica de punta ya no simplemente es interpersonal y transpersonal, sino incluso transgeneracional. Está formulando proyectos y trabajando en los mismos a escalas superiores a los que la demografía nos tenía habituados. La nanología ocupa en este panorama un lugar central, puesto que se encuentra en la base de, o atraviesa a, programas tales como la conquista del espacio exterior, la búsqueda de energías alternativas, la conquista del fondo submarino, o la inteligencia artificial y la vida artificial. Nada de esto es sin ese capítulo novedoso que es –en el espectro de la física y la ingeniería de materiales, de producción de nanotubos y fluorelenos, nanopartículas, etc. – la nanotecnociencia.

Ahora bien, la ciencia y la tecnología de punta, en contraste con la historia tradicional, ha aprendido que ya no es inevitable que la historia de la ciencia y de la tecnología coincidan sin más, de un extremo al otro, con la historia de la ciencia y la tecnología con fines militares, belicistas. La comunidad científica ha aprendido, notablemente, después de los aprendizajes hechos a raíz de Auschwitz, el Proyecto Manhattan y el Informe Belmont, que la ciencia no puede ser política y socialmente ingenua.

Por ejemplo, en una historia normal de ciencia y de la tecnología se comienza hablando de la flecha, el control del fuego, la rueda, la pica y el hacha, ocasionalmente incluso de la aguja de tejer, etc. Pero lo que no se menciona jamás es que esa historia es, en realidad, la historia de las técnicas y la tecnología con fines eminentemente militares: matar, defenderse, atacar, mantener un territorio, y otras actividades semejantes. En pocas palabras, la historia de la ciencia y la tecnología en toda la historia de la humanidad es la historia de la tecnología y la ciencia con fines militares, y sólo después con aplicaciones y extensiones civiles. Esta historia va desde el arco y la flecha, por ejemplo, hasta el desarrollo de Internet (específicamente en su primera etapa).

Sin embargo, en el curso de la segunda mitad del siglo XX esta historia comienza a cambiar. Los tres capítulos decisivos de este cambio son: el fenómeno del Silicon Valley, la biotecnología y la nanotecnología, tres desarrollos distintos que surgen al margen del control y de los intereses del Estado. En el caso de la nanotecnología, las principales aplicaciones y desarrollos estuvieron dirigidos, hasta donde hay información, en torno a la producción de nuevos materiales y las aplicaciones en las telecomunicaciones y las ciencias de la salud. El texto de Drexler (1993) es una buena radiografía al respecto. El marco en el que los tres ejemplos mencionados se inscriben y se hacen posibles de este modo es el reconocimiento explícito del resorte social –y por extensión, político- de la investigación tecnocientífica; es decir, la perspectiva CTS.

VI

Al lado del panorama anterior, se impone igualmente estudiar las *consecuencias* y las implicaciones de la nanotecnociencia. En esto consistiría exactamente la nanología. Pero si ello es así, en el centro de las miradas se encuentra entonces la filosofía. Más exactamente la filosofía de la ciencia, la epistemología y la filosofía de la lógica.

La consecuencia se encuentra en el corazón de la lógica. Esto es, qué se sigue de qué. Así, el estudio de las consecuencias ofrece una herramienta vital en la evaluación de los argumentos. Ahora bien, puesto que la filosofía procede a través de argumentos y de inferencias, una visión clara de lo que sea la consecuencia lógica se convierte así en el tema más importante de cualquier otra disciplina que trabaje con argumentos.

Ahora bien, es fundamental atender al hecho de que la noción de consecuencia lógica no significa en manera alguna, que exista una única relación de consecuencia deductiva. En una palabra, no existe una única lógica, sino varias, muchas. No existe una única lógica de lo verdadero (*No one true logic*), sino múltiples (Bell and Restall, 2006). La presentación más básica de esta idea consiste en el reconocimiento de dos grandes dimensiones: de un lado, la lógica formal

clásica –conocida igualmente como lógica simbólica o lógica matemática –la cual, a su vez, se articula como lógica de primer orden y como lógica de segundo orden (o de órdenes superiores)-, y las lógicas no-clásicas, más idóneamente llamadas lógicas filosóficas, entre las cuales se destacan la lógica del tiempo, las lógicas paraconsistentes, incluyendo a la lógica de la relevancia, la lógica cuántica, las lógicas polivalentes, incluyendo a la lógica difusa. Es claro que existen varios vasos comunicantes, no solamente entre las lógicas filosóficas y la lógica clásica, sino, además, al interior de las lógicas no-clásicas.

Como quiera que sea, un hilo común a todas las lógicas es el reconocimiento explícito de que la implicación (*entailment*) o, en términos más genéricos, la consecuencia, constituye el terreno de base del trabajo lógico. Aquí, sencillamente, quiero abogar por una tarea –futura, por tanto-, consistente en un abanico, por así decirlo, de estudios y series de trabajo centradas en las –por definición- múltiples consecuencias de la nanología.

Naturalmente, además de las consecuencias externas, digamos –por ejemplo, sociales, educativas, políticas, económicas, medioambientales y otras, se trata de consecuencias estrictamente lógicas, tales como de necesidad, normatividad, formalidad y de especificación de casos. En lo que sigue quisiera al mismo tiempo ampliar y precisar lo anterior.

VII

En este lugar quisiera puntualizar en una idea: las implicaciones – consecuencias – filosóficas de la nanología no deben ser entendidas en el sentido, genérico y fácil, según el cual la filosofía se ocupa de las implicaciones de cualquier asunto, lo cual a todas luces es falso y constituye una veleidad de parte de muchos filósofos. En primer lugar, debido a que “filosofía” hace referencia aquí a la pluralidad lógica y la pluralidad de lo real mismo, apuntando a la idea originaria de Aristóteles de acuerdo con la cual *to on legetai pollakhon*. En correspondencia, “filosofía” hace referencia a la comprensión de la pluralidad de maneras como lo real mismo se dice (o piensa – *legein*), y no en el modo específico como es dicho (y pensado) lo real, en cada caso. Así, el ser o lo que es, o lo real (*to on*), se dice (*legetai*) de múltiples maneras (*pollakhon*), y en esto consiste, en primer término, el estudio sobre las implicaciones, aquí, de la nanología.

En segunda instancia, el estudio de las implicaciones filosóficas no es, en manera alguno, ajeno al de las implicaciones lógicas, con lo cual básicamente se trata del reconocimiento explícito de que los filósofos integren dentro de sus trabajos los

desarrollos actuales y de punta de la lógica y que apuntan, todos, justamente, en la dirección de las lógicas filosóficas⁸.

La física del universo microscópico apunta, desde el punto de vista de la física, al dominio cuántico y, ulteriormente, subcuántico, lo cual constituye una revolución fundamental en la historia del conocimiento. Se trata de ese umbral en el que las preguntas últimas, por así decirlo, pueden ser abordadas y respondidas mejor de lo que hemos logrado hasta la fecha. Se trata de interrogantes acerca de la estructura de la materia, el origen de la vida, y la estructura y funcionamiento de la mente y del cerebro. Los tres interrogantes se hallan, naturalmente, entrelazados de manera estrecha.

A todas luces, estamos asistiendo a una auténtica revolución mental y cultural. Pues bien, esta revolución se inaugura, en términos teóricos, a partir de la famosa conferencia del 29 de diciembre de 1959 de R. Feynman con el título *There is plenty of room at the bottom*. Esta revolución contrasta con toda la historia marcada por la selección natural desde que abandonamos los árboles y nos lanzamos por las etapas africanas, hasta hoy, y se corresponde perfectamente con la ciencia y la tecnología del siglo XX y XXI, que es marcadamente contraintuitiva. La revolución nanométrica y nanoescalar es la revolución en la que volvemos, por primera vez, la mirada del universo macroscópico hacia el universo microscópico – como constituido por seis escalas, hasta la fecha – para, gracias a ella, volver la mirada sobre el universo macroscópico y poder comprenderlo mejor.

Digámoslo de manera puntual y radical: los problemas, retos, temas, riesgos y peligros más importantes del mundo macroscópico se fundan en la escala microscópica y se derivan de ella, y con ella, no sin ella, pueden ser resueltos satisfactoriamente. Este es, con seguridad, el principal problema filosófico que la revolución de la nanotecnociencia plantea, a saber: lo que en la cuántica se conoce como el principio de correspondencia; esto es, los tipos de correspondencia entre el universo microscópico y el macroscópico. La física ha hecho de este, con razón, un motivo al que ha dejado buena parte de sus mejores energías, la unificación entre la teoría de la relatividad y la física y la mecánica cuántica.

Topográficamente hablando, si cabe la expresión, la nanología es ciencia que opera en la escala de la biología de la célula hacia abajo y, con relación a la física, en el nivel cuántico y subcuántico – siendo en este caso el límite más espectacular el de la femtoquímica. Es decir, la nanología es ciencia que opera en ese nivel apasionante en el que la información se hace una sola, si se me permite la metáfora, con los niveles fundamentales de la materia. Es en esos niveles en los que la información más fundamental para todos los procesos físicos, químicos, biológicos y otros se enraíza con la materia. *À la limite*, rayamos aquí con ese límite

⁸ Como parte del proyecto de investigación que adelanto, me encuentro en la preparación de un texto sobre las lógicas filosóficas.

en el que la materia deja de existir porque se confunde con la información misma, un tema que apasiona al Capra del *Punto crucial*, por ejemplo, pero que en realidad nos remonta hasta los trabajos pioneros, originales y radicales de D. Bohm⁹.

sentido, el problema central para las ciencias sociales y humanas (en el sentido más amplio y desprevenido de la palabra y que comprende por también a las ciencias de la salud y las ciencias económicas, contables y administrativas) consiste, en este marco, en conocer la nanología, profundizar en ella, a fin de ampliar los marcos explicativos y comprensivos de los fenómenos, procesos, dinámicas y sistemas sociales humanos. En efecto, las ciencias sociales y humanas nacieron en referencia a, y han permanecido ancladas dentro de, el universo macroscópico, ignorantes o miopes, por decir lo menos, del universo microscópico, la otra mitad de la realidad, por así decirlo. Mientras las ciencias sociales y humanas permanezcan ciegas y sordas a la nanología, o mientras lo que saben de la nanología esté todavía marcado por exceso de ruido, lo que puedan decir sobre las dinámicas sociales humanas es insatisfactorio y limitado. Así, el problema fundamental de una epistemología de las ciencias sociales y humanas coincide, plano por plano, con la lógica cuántica.

En efecto, el problema de la correspondencia entre el universo macroscópico y el microscópico constituye a una de las lógicas no clásicas más sugestivas, la lógica cuántica¹⁰, ¹¹, cuyo principal tema de estudio y trabajo consiste en establecer si y cómo lo que dice la física cuántica tiene correspondencia con el mundo macroscópico. Este problema es eminentemente filosófico, pues hace referencia a temas tales como el acaecer de lo real – por ejemplo, el monismo de lo real frente a un pluralismo de lo real como pluralidad de mundos.

La lógica cuántica es una lógica no-clásica – más adecuadamente denominadas lógicas filosóficas-. El primer rasgo determinante para la comprensión de las lógicas no-clásicas – o lógicas filosóficas – es el reconocimiento explícito del pluralismo lógico¹².

⁹ Cfr. Notablemente, *The Undivided Universe* y *Wholeness and the Implicate Order*. El aspecto interesante que quisiera resaltar aquí de la obra de Bohm consiste justamente en su atrevimiento para *interpretar* –por consiguiente, filosóficamente-, a la física cuántica. Como es sabido, en la ciencia normal, en general, el problema de la interpretación –de los modelos, de las teorías, de las descripciones y de las explicaciones- constituye una osadía, si no un escándalo. Abogo aquí, en el marco de la filosofía de la ciencia, por el valor y la importancia de interpretar las teorías, los desarrollos teóricos y tecnológicos. Es en este filo en donde se sitúa la nanología.

¹⁰ Para una visión crítica de esta idea y que por tanto comprende a la lógica cuántica en el marco de la lógica ordinaria, véase Calíbrese (2005).

¹¹ Me encuentro trabajando en un texto sobre las lógicas no clásicas en general y, por consiguiente, en la lógica cuántica. Este texto forma parte justamente del proyecto de investigación mencionado al comienzo.

¹² He trabajado sobre las lógicas no-clásicas en otro lugar. Véase Maldonado, C. E., (2006) “Lógicas no clásicas (3): Lógicas paraconsistentes”, en: *Zero. Diecisiete*, Universidad Externado

Básicamente, la lógica cuántica trabaja con base en un sistema de operadores algebraicos que le permiten construir y manipular las diversas combinaciones de eventos que la mecánica cuántica estudia consuetudinariamente. Por lo general, se la comprende como una lógica proposicional apta para el trabajo con los temas de medición, unos de los más difíciles en la física cuántica.

La lógica cuántica fue propuesta originalmente por H. Putnam como la lógica correcta para el estudio de las inferencias proposicionales en general. Podría decir que en lógica distinguimos dos grandes clases de inferencias, las inferencias inductivas y las transductivas, cada una de ellas compuesta a su vez por una variedad de otras inferencias particulares. Como quiera que sea, el núcleo filosófico central de esta lógica es el debate, inacabado y no resuelto hasta la fecha, acerca de si es o no decidible. Aun así, lo fundamental consiste en el reconocimiento de que nos situamos en el marco de un cálculo probabilístico que descansa sobre una lógica proposicional *no clásica*.

VIII

Para concluir, quisiera puntualizar en tres ideas, así:

- (i) El modelo, por así decirlo, de las ciencias de punta que han emergido recientemente ya no es la física sino la biología (Pagels, 1991). Los desarrollos exploratorios del mundo microscópico se sitúan exactamente en esta dirección. Pero si ello es así, entonces, desde el punto de vista del conocimiento –epistemología-, la mejor epistemología sobre el conocimiento es la biología; diversos autores confluyen en este punto. Lo esencial aquí es que la nanología, como la nanotecnociencia, se inscriben en este mismo espíritu.
- (ii) La nanología funge como basamento para entender una parte de las dinámicas sociales, a saber, justamente, aquella parte que encuentra su foco en la célula y en sus estructuras, funciones y dinámicas esenciales. Si en un plano hemos aprendido recientemente, gracias a la obra de Foucault, notablemente,

de Colombia, segundo semestre, págs. 148-152; (2006) “Lógicas no clásicas (2): la lógica del tiempo”, en: *Zero. Dieciséis*, Universidad Externado de Colombia, primer semestre, págs. 124-128; (2005) “¿Por qué hay múltiples lógicas?”, en: *Zero. Quince*, Universidad Externado de Colombia, segundo semestre, págs. 112-117; más recientemente, cfr. “comprensión positiva de las lógicas no-clásicas (4)”, en *Zero: Dieciocho*, Universidad Externado de Colombia, primer semestre, 2007 (en prensa).

que, en la genealogía de los discursos, las prácticas y los poderes hay una política del cuerpo, análogamente podemos decir ahora que en el problema de la correspondencia entre el universo microscópico y el macroscópico es el más determinante para entender el mundo y la naturaleza. De ahí la envergadura de la nanología como la ciencia que abarca al primero de estos mundos y sin el cual no cabe entender ni explicar al segundo. No en última instancia, me refiero a las notables implicaciones entre nanología y biopolítica. Pero este sería objeto de un estudio aparte.

- (iii) La lógica se ocupa de las consecuencias, y existe manifiestamente un pluralismo lógico – pluralismo de las consecuencias, por tanto. Ahora bien, es efectivamente posible que la lógica lo sea del mundo entero en general, y no ya únicamente de proposiciones, sentencias y afirmaciones. Sobre este terreno encontramos elementos para una filosofía de la lógica de la nanología.

En fin, he querido llamar la atención acerca de la amplitud de la dimensión nanométrica – que en realidad no es única o exclusivamente de la escala nano, sino que incluye a la dimensión atto y femtométrica. Pero ésta no es sino una expresión para designar al universo cuántico y subcuántico, en un plano, o el de la citología y lo que sucede hacia abajo, en el otro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELL, J. C.; RESTALL, G. *Logical Pluralism*. Oxford: Clarendon Press, 2006.
- CALABRESE, P. G. Toward a More Natural Expression of Quantum Logic with Boolean Fractions. *Journal of Philosophical Logic*, 2005, 34: 363-401
- CHRISTIAN, D. *Mapas del tiempo. Introducción a la "Gran Historia"*. Madrid: Crítica, 2005.
- ROSNAY, J. DE, SERVAN-SCHREIBER, J.-L., DE CLOSSETS, F., SIMMONET, D. *Une vie en plus*. Paris: Le Seuil, 2005.
- DE VRIES, M. J., (2005). "Analyzing the Complexity of Nanotechnology", en: *Techné: Research in Philosophy and Technology*, Vol. 8, Number 3
- DREXLER, K. E. *La nanotecnología. El surgimiento de las máquinas de creación*. Barcelona: Gedisa, 1993.
- Garson, J. W. *Modal Logic for Philosophers*. New York: Cambridge University Press, 2006.

- KOSELLECK, R. *Futuro pasado. Para una semántica de los tiempos históricos*. Barcelona: Paidós, 1993.
- MALDONADO, C. E. Filosofía de la ciencia y nanotecnociencia. In: Giraldo, J.; GONZÁLEZ, E.; GÓMEZ, F. (Eds.). *Nanotecnociencia. Nociones preliminares sobre el universo microscópico*, Bogotá, Ed. Buinaima, 2007, pp. 69-80.
- PAGELS, H., (1991). *Los sueños de la razón. El ordenador y los nuevos horizontes de las ciencias de la complejidad*. Barcelona: Gedisa
- SCIENTIFIC AMERICAN REPORTS. *The Rise of Nanotech*. Volume 17, Number 3.
- WALLERSTEIN, I. (coord.). *Abrir las ciencias sociales. Comisión Gulbenkian para la reestructuración de las ciencias sociales*, 9ed. México: F.C.E., 2006.
- ZEWAIL, A. *Viaje a través del tiempo. Senderos hacia el Premio Nóbel*. México: F.C.E., 2006.