



## Nanotecnología, lo desconocido y la ley\*

Daniel Francisco Nagao Menezes<sup>a</sup>

**Resumen:** la tecnología brinda la posibilidad de explorar nuevas escalas e inaugura una nueva forma de entender la naturaleza con la nanotecnología, ciencia aplicada que ha sido desarrollada mediante un sofisticado aparato tecnocientífico; la reflexión sobre su rango infinito y sus riesgos está impulsada por la certeza de la incertidumbre de los modelos científicos que crean esta nueva realidad. En esta área, la ley está obligada a enfrentar problemas complejos e interdisciplinarios, a menudo basados en un cientificismo que confiere credibilidad solo a lo que produce y que, debido a la velocidad con la que se transmutan las noticias, sigue fuera de sintonía con el ritmo de la dogmática legal. Por lo tanto, este estudio utiliza el método inductivo de investigación, emplea en esencia investigación bibliográfica y tiene como objetivo reflexionar sobre los desafíos que plantea la ciencia jurídica, a fin de indicar la necesidad de fortalecer los parámetros de decisión adecuados que conducen a la mejor manera posible de abordar los matices y desafíos impuestos por la nanotecnología.

**Palabras clave:** derecho; nanotecnología; riesgo 5

**Recibido:** 03/08/2019 **Aceptado:** 21/06/2022 **Disponible en línea:** 24/03/2023

**Cómo citar:** Nagao Menezes, D. F. (2023). Nanotecnología, lo desconocido y la ley. *Prolegómenos*, 25(50), 15-31. <https://doi.org/10.18359/prole.4239>

- 
- \* Artículo de investigación. El presente trabajo fue desarrollado con el apoyo de la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (Capes). Código de Financiamento 001. Proceso 88881.310388/2018-01 – PRINT/CAPES.
  - a Doctor y magíster en derecho político y económico, Universidade Presbiteriana Mackenzie. Profesor del Programa de Posgrado en Derecho Político y Económico de la Facultad de Derecho de la Universidad Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil. Correo electrónico: [nagao.menezes@gmail.com](mailto:nagao.menezes@gmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9151-5699>

## *Nanotechnology, the unknown and the law*

**Abstract:** Technology offers the possibility of exploring new scales and inaugurates a new way of understanding nature with nanotechnology, an applied science that has been developed through a sophisticated techno-scientific apparatus; reflection on its infinite range and its risks are driven by the certainty of the uncertainty of the scientific models that create this new reality. In this area, the law is forced to confront complex and interdisciplinary problems, often based on a scientism that confers credibility only on what it produces and that, due to the speed with which news is transmuted, remains out of sync with the pace of legal dogmatics. Therefore, this study uses the inductive method of research, employs, in essence, bibliographic research, and aims to reflect on the challenges posed by legal science to indicate the need to strengthen the appropriate decision parameters that lead to the best possible way to address the nuances and challenges imposed by nanotechnology.

**Keywords:** law; nanotechnology; risk.

## *Nanotecnologia, o desconhecido e a lei*

**Resumo:** A tecnologia oferece a possibilidade de explorar novas escalas e inaugura uma nova forma de entender a natureza com a nanotecnologia, ciência aplicada que foi desenvolvida por meio de um sofisticado aparato tecnocientífico. A reflexão sobre sua gama infinita e seus riscos é impulsionada pela certeza da dubiedade dos modelos científicos que criam essa realidade. Nessa área, a lei é obrigada a enfrentar problemas complexos e interdisciplinares, frequentemente baseados em um cientificismo que confere credibilidade somente ao que produz e que, devido à velocidade com que as notícias se transmutam, continua dessincronizado com o ritmo da dogmática legal. Portanto, este estudo utiliza o método indutivo de pesquisa, emprega essencialmente pesquisa bibliográfica e tem como objetivo refletir sobre os desafios propostos pela ciência jurídica, a fim de indicar a necessidade de fortalecer os parâmetros de decisão adequados que conduzam à melhor maneira possível de abordar as nuances e os desafios impostos pela nanotecnologia.

**Palavras-chave:** direito; nanotecnologia; risco.

## Introducción

El estudio y el enfoque de las implicaciones aportadas por las nuevas tecnologías y, en consecuencia, por los nuevos derechos y deberes derivados de ellas, es una constante contemporánea. En esta área, el advenimiento y el avance de la nanotecnología nos enfrenta a una nueva era del conocimiento, en la que los riesgos y las incertidumbres científicas deberían, en la medida de lo posible, ser conocidos, debatidos y cuestionados con amplitud.

Como resultado de la convergencia de las diversas áreas del conocimiento, la nanotecnología emerge en este nuevo siglo como el motor de un gran cambio ambiental y de comportamiento. Primero comenzamos con un cambio vertiginoso en la escala de la tecnología de macroescala (de la cual somos menos dependientes) y pasamos a la tecnología de micro y nanoescala (de la que seremos más dependientes). Una inversión significativa de valores y escalas nunca antes imaginada.

En la actualidad, estamos invitados a (re) pensar el futuro de la condición humana, y unir aquí, en simbiosis constante, al ser humano y al medio ambiente, frente al desarrollo tecnológico incontrolable y los riesgos (concretos y abstractos) vinculados a él. Por lo tanto, la imposibilidad de predecir las consecuencias de los experimentos y aplicaciones nanotecnológicos introducidos en la vida cotidiana posindustrial, y sus reflejos en la naturaleza, cuando se miden a mediano y largo plazo, son cuestiones que desafían la técnica científica en sí y, en especial, la dogmática actual, al derecho, en particular al derecho ambiental.

El tema se justifica, por un lado, por la necesidad de dilucidar un nuevo pensamiento sobre la ley, que afecta las cuestiones (incertidumbres) derivadas del uso de la nanotecnología, cuya implementación aumenta en las sociedades contemporáneas. En este punto, el debate interdisciplinario es necesario, ya que la ciencia y la tecnociencia, en sus áreas específicas de concentración, se alejan del paradigma de las certezas, con lo que allanan el camino a las incertidumbres. Por otro lado, el predominio del interés científico e industrial, en detrimento del interés social por la información, no puede obstaculizar el debate sobre las técnicas

nanotecnológicas y sus implicaciones en el medio ambiente, lo que conduce a un distanciamiento de la esfera legal e incluso a una reacción ecológica, nombre del progreso a cualquier precio.

Además de emerger en el panorama científico como algo nuevo y lleno de promesas positivas, el consumo de productos de nanotecnología conlleva riesgos e incertidumbres desconocidos sobre sus efectos reales, tanto en la salud humana como en el medio ambiente.

Por lo anterior, se pretende con este estudio abordar los avances de la nanotecnología, presentar temas relevantes desde un punto de vista ambiental y legal, analizar aspectos específicos de un tema interdisciplinario muy importante para la sociedad moderna, derivados de nuevos conceptos, implicaciones, responsabilidades y riesgos. El uso de esta nueva escala de ver el mundo llamada 'nanotecnología'.

Por lo tanto, el problema investigado en este artículo gira en torno a si la percepción de la existencia de riesgos e incertidumbres nanotecnológicas motiva que sea apropiado estudiar sus efectos sobre cuestiones ambientales y legales. Mediante un enfoque en esencia bibliográfico, este estudio tiene como objetivo (re) pensar los desafíos que la nanotecnología impone a la ciencia jurídica, en vista de la necesidad de fortalecer los procesos de decisión y apuntar a su mayor efectividad. Esto permitirá la expansión del conocimiento de la ciencia jurídica sobre las incertidumbres que las nanotecnologías causan en la sociedad actual.

## Nanotecnología como una nueva referencia para el análisis de derecho

Durante mucho tiempo, los humanos han garantizado su evolución como sujeto empresarial de nuevas tecnologías y nuevos derechos. Hoy, inmersos en una creciente falange de innovación tecnológica, con el advenimiento de la nanotecnología se tiene un pronóstico futuro inconmensurable y, como consecuencia, implicaciones legales nunca antes imaginadas.

La necesidad de garantizar un entorno ecológicamente equilibrado, bien utilizado por todos y

preservado para las generaciones presentes y futuras tiende a debilitarse cuando las auspiciosas técnicas nanotecnológicas y los riesgos abstractos propios de ellas se utilizan como parámetro, lo que requiere un intenso debate sobre sus prodigiosas promesas. Pereira (2001, p. 73) agrega que

La posibilidad de que un experimento de laboratorio cobre vida es cada vez más común. Hace mucho tiempo que el hombre dejó de ser criatura y se convirtió en creador. [...] La nanotecnología y la nanociencia son ejemplos de que el hombre efectivamente ha superado su condición de criatura.

El objetivo de la ciencia es construir un modelo unificado del universo y la comprensión de su evolución, con base en un modelo empírico (observación), que busca simular la realidad y proporcionar “predicciones precisas sobre fenómenos futuros” (Degrave, 2000, p. 65), con el fin de mejorar la calidad de vida de los seres humanos.

La construcción de predicciones precisas sobre fenómenos futuros en la actual sociedad de riesgo (Beck, 2011) no se ha logrado, ya que los peligros derivados de las nuevas tecnologías, en especial de la nanotecnología, son abstractos (invisibles e impredecibles), y no se tiene certeza sobre el alcance real y los resultados. La compartimentación y la consecuente especialización de la ciencia requieren una creciente comprensión interdisciplinaria para comprender la complejidad intrínseca de esta importante área de conocimiento (Silva, 2003).

Pereira (2001, p. 204) —preocupado por el papel y la contribución del Estado a una política social que se ocupa sobre todo de los temas de ciencia, tecnología y conocimiento científico— señala otros problemas que, de alguna manera, están en línea con la realidad presentada sobre el avance científico y la falta de preparación de la sociedad en asuntos de esta naturaleza:

[...] al pensar en una política de ciencia y tecnología para el Estado, los temas se vuelven más complejos, a medida que la ciencia moderna se encarece cada vez más; se agravan las desigualdades y las necesidades sociales; al mismo tiempo, ninguna sociedad contemporánea puede igualar a las demás sin un fuerte apoyo científico y tecnológico; además, la planificación no podría estar ligada a intereses

inmediatos, partidistas o corporativistas, en definitiva, las estructuras no se ajustan a nuevas realidades y necesidades.

En este diapason, debe señalarse que “la ciencia vive una situación delicada entre el impulso para aumentar el conocimiento y la expectativa de transformar este conocimiento en aplicaciones prácticas y útiles para la sociedad” (Degrave, 2000, p. 65). Algunos dicen que la ciencia ha avanzado hasta ahora. Pero es paradójico que la confianza en su poder y efectividad la han reemplazado por sentimientos de miedo y desconfianza en la actualidad. Vieira (1999) enseña que no se puede olvidar la singularidad de la persona humana y advierte sobre el uso indiscriminado de las técnicas, de modo que:

La investigación científica no debe ser contenida, sin embargo, es necesario identificar las prácticas que deben ser prohibidas por sus peligros potenciales y mostrar las ventajas y beneficios de estas técnicas a la humanidad. La solución está en equilibrio. (1999, p. 38)

Varios de los conflictos experimentados en la actualidad son el resultado de la investigación sobre el avance de las nuevas tecnologías disponibles para mejorar la salud, la calidad de vida, el medio ambiente y las condiciones de trabajo, ocio y confort. Estas creaciones terminan por poner a prueba las referencias y medidas habituales de los fundamentos éticos y deontológicos en los códigos legales que regulan la conducta humana, en comparación con la (re) invención del futuro a escala nanotecnológica.

La ley, en su jurisdicción, acompaña a la sociedad y busca, incluso con su fuerza coercitiva, disciplinarla. A su vez, el conocimiento prematuro y sin precedentes de los riesgos concretos derivados del uso cada vez más recurrente de la nanoescala termina por exponer una falta de preceptos normativos que protejan, en un sentido preventivo, una cierta insuficiencia y un control negativo que surge de este nuevo tipo de explotación tecnológica.

Como resultado, el sistema legal brasileño abre una corriente de estudios por medio de la investigación nanotecnológica, en la que se deben respetar los límites de la ética, el principio constitucional

supremo de la dignidad de la persona humana (Borges *et al.*, 2014), reverenciado como la piedra angular de todo el sistema legal brasileño y, sobre todo, de todos los aparatos de protección relacionados con el derecho ambiental y su especialidad, que proporciona equilibrio y protección al medio ambiente. En palabras de Casabona (2000, p. 23):

El jurista encuentra, cada vez con mayor frecuencia, serios obstáculos que, inevitablemente, debe afrontar cuando se propone analizar una nueva realidad social, especialmente cuando su implantación está condicionada decisivamente por los avances científicos y tecnológicos. La dificultad es una prueba muy simple: para llevar a cabo con éxito el análisis jurídico de la realidad social que se ha propuesto como objeto de estudio, es necesario que el jurista tenga el conocimiento más exacto y fiel de esa realidad o, por decirlo de otra manera. Del mismo modo, del sujeto objeto de valoración [...] jurídica, pero cuando las innovaciones tecnológicas o los descubrimientos científicos se presentan como núcleo o trasfondo de esas relaciones, el jurista corre el peligro de fracasar en su intento analítico, si no ha realizado el esfuerzo adicional para capturar al menos los aspectos más relevantes de estas innovaciones o descubrimientos y la forma en que realmente operan en las relaciones humanas.

Algunos sostienen que el “avance tecnocientífico continúa favoreciendo una desarmonía aún mayor entre sus nuevos implementos y los intereses de los hombres vulnerables” (Silva, 2003, p. 104). La insuficiencia de algunos conceptos civilistas que van en contra de la realidad científica actual termina por debilitar la ley, para proponer como suficiente la patrimonialización de los bienes ambientales (ya sea por el daño causado o por el valor del bien mismo), que ya no se miden bajo el concepto de naturaleza, por lo que es cuantificada por los principales agentes científicos, económicos, industriales y comerciales. Como reflexiona Leite (2001, p. 118), “Surgen cada vez más preguntas que los principios tradicionales del derecho no pueden responder”.

La “revolución invisible” (Engelmann, 2010), o como algunos académicos la llaman, “la cuarta revolución industrial” o “el nuevo orden de

producción industrial” (Almeida, 2005), muestra que la nanotecnología es “la nueva frontera de la era global” (Dupas, 2017). Al permitir el control de partículas infinitamente pequeñas, estas forman una disposición que facilita la fabricación de productos con características nunca antes vistas. Este nuevo arreglo a nivel atómico causa cierta aprensión de lo que puede constituir un futuro no muy lejano:

Su aplicación tendrá un gran impacto en la sociedad, generará enormes beneficios con productos y servicios revolucionarios y provocará inmensos riesgos. Los patrocinadores de estas técnicas garantizan, en un futuro próximo, nanorrobots que circulan en la sangre humana para reparar células, capturar microbios o combatir cánceres; materiales diez veces más resistentes y cien veces menos pesados que el acero; y armas milimétricas y dispositivos de vigilancia muy potentes. Anuncian la implantación de nanochips en el organismo humano para reemplazar o agregar células con nuevas funciones, dejando espacio para una primera generación de poshumanos. Y sus oráculos más delirantes prometen una completa regeneración celular; en el límite, la inmortalidad. Pero hay serias advertencias: riesgo de contaminación ambiental incontrolable por partículas muy pequeñas que flotan en el aire, viajan grandes distancias y no están controladas por barreras naturales; nanocomponentes que se acumulan en la cadena alimentaria con consecuencias desconocidas; nanodispositivos que modifican y controlan la mente humana; y reproducciones incontroladas de nanopartículas que destruyen vidas y generan epidemias. (Dupas, 2017)

Se cree que “la comprensión científica de ciertos riesgos puede contribuir a su solución y esta parece ser la misión principal del área de bioseguridad”. Por lo tanto, el análisis científico de riesgos “es una condición necesaria pero no suficiente para la toma de decisiones en las políticas públicas. Debe ir acompañado de juicios basados en actitudes públicas y sus sistemas de valoración”, en especial cuando la percepción individual del riesgo en las sociedades posmodernas representa un importante factor de movilización social (Telles, 2003, p. 189). Como considera Sartori (2005), “no es

necesario imponer barreras o establecer fronteras morales y religiosas insuperables, sino disciplinar hechos que, inevitablemente, surgirán como resultado de la evolución humana”.

En consecuencia, no es excesivo enfatizar en que el progreso científico es deseable, pero debe acompañarse de preocupaciones sobre la sociedad y el medio ambiente. Como se presentó al comienzo, la humanidad ha evolucionado en una medida inconmensurable en su afán por el conocimiento, por lo que es natural hablar de la nanotecnología como un nuevo marco científico posible, legítimo y real. Tal salto nos ha llevado a pasar de una criatura a otra, pero las predicciones de las consecuencias de esta ruptura son cada vez más inciertas. La escasez de datos sobre los aspectos negativos de estas nuevas tecnologías abre un campo de riesgos para los humanos, el medio ambiente y, tal vez, la vida misma en este planeta.

## Entre la ley y la ciencia nanotecnológica, ¿quién decide?

El desarrollo técnico-científico ha proporcionado avances impensables y útiles para toda la humanidad. Pero, en contraste, estos mismos progresos han dado paso a una era de hiperdependencia de la tecnología, que junto con los problemas del consumidor (Lipovetsky, 2009) dicta las reglas de un mercado feroz para obtener ganancias y aumentarlas a cualquier costo.

Hoy el riesgo y la incertidumbre van de la mano. La incertidumbre ocurre sobre todo cuando se supera el conocimiento científico. Pero esta certeza de la incertidumbre del riesgo no ocasiona que la ley y sus ejecutores estén exentos de la misión de enfrentarla, por el contrario, deben hacerlo al ejercer su misión más saludable: decidir. Por lo tanto, las atribuciones de la ley, en este momento de incertidumbre, son las siguientes: 1) decidir sobre los riesgos permisibles (lo que implica conocer la magnitud y la gravedad del riesgo); 2) gestionar y controlar los riesgos permisibles (lo que implica el conocimiento de sus efectos, lo que lleva a la prohibición o retiro de productos que dañan el medio ambiente), y 3) establecer parámetros de responsabilidad por daños derivados de las decisiones

adoptadas (dado que tales decisiones se toman en contextos de incertidumbre y riesgo, tal vez reflejan un margen de incertidumbre y peligro contenido en la decisión misma) (Pardo, 2015).

Estas atribuciones conducen a una continua interrelación de la ciencia y el derecho, sin embargo, la complejidad científica asociada con la ciencia supera el conocimiento de las autoridades públicas y los representantes populares, quienes, incapaces de hacer un examen detallado y multidisciplinario, en ocasiones abren el camino a la consagración de expertos que monopolizan el desempeño de las instancias tecnocientíficas que se convierten en el centro de decisión. En resumen, la orientación cada vez más científica del derecho (intimidada por la creciente complejidad de los problemas, incluida la nanotecnología en la naturaleza), ha dado importantes espacios de toma de decisiones a *Technoscience*.

Los estudiosos afirman que la nanotecnología hoy, “constituye una de las áreas de investigación más fuertes. Donde la diversidad de posibles aplicaciones, combinada con el potencial de la tecnología es uno de los principales factores para su avance” (Steinmetz, s / f). Además de ser un vehículo innegable para el progreso de la humanidad, su desarrollo conlleva un conjunto significativo de riesgos potenciales para las estructuras socioeconómicas de las poblaciones de todo el mundo, ya que provoca cambios en los fenómenos físicos conocidos.

Preocupada por el desarrollo nanotecnológico a nivel nacional, Da Silva (2003, p. 86) considera lo siguiente:

El nano mundo, por lo tanto, no es algo naturalmente asimilado por nosotros. Se puede decir con seguridad que, sobre estas tecnologías diminutas, el mundo sabe muy poco. El potencial innovador de la nanotecnología exige un esfuerzo de colaboración de académicos de diferentes disciplinas de las ciencias formales, naturales, sociales y humanas, con el coraje y la determinación de investigar conjuntamente lo que puede representar, para el destino del hombre, del universo, de cultura, de vida, en definitiva, el control absoluto de la estructura de la materia. Y, sumado a eso, una mayor conciencia de la dimensión de este dominio inigualable en todo momento,



que muestra hasta qué punto la nanotecnología plantea un nuevo desafío ético, legal, político, social y económico para Brasil, analizando si el país está preparado o no para estas tecnologías emergentes. Es importante recordar que, aunque no es un tema muy común en la vida cotidiana, esta tecnología está allí con todas sus implicaciones y complicaciones, y debido a que es un área que avanza rápidamente, la nanotecnología plantea hasta hace pocas preguntas impensables, las respuestas llegan lentamente o no llegan en absoluto.

Aunque la coexistencia con la incertidumbre es posible hasta que se tengan que tomar decisiones (como ocurre en los campos del arte, la filosofía y las ciencias sociales), es en este punto que el derecho es incompatible, ya que cumple con la ardua y solitaria tarea de “decidir y resolver, generar y mantener certezas” (Pardo, 2015, p. 17). Todos los involucrados en esta tarea —jueces, tribunales, parlamentos, organismos administrativos— están obligados (¡no es una facultad!) a decidir desde el momento en que se les presenta un reclamo. La decisión es, en el análisis final, la solución de la incertidumbre creada por la controversia, y para llegar a este fin se necesitan procedimientos para garantizar el pleno desarrollo de los mecanismos de seguridad jurídica y dar a la ley una estructura sólida de legitimación. No es excesivo enfatizar que esto quizás sirvió como base para el desarrollo económico e industrial de Occidente, que necesitaba que estos institutos de garantía (ciencia y derecho) se emanciparan en gran parte en todos lados.

La Posmodernidad inaugura un nuevo modo de reflexión basado en la expansión de la incertidumbre y la complejidad; ambas avanzan, independiente de los límites de la ley, pero entran en ella, por reflejo, y deconstruyen / afectan una variedad de procedimientos legales y de certezas.

Las Constituciones modernas contemplan la investigación científica como una libertad suprema (incluso aquí entendida en términos de libertad artística). Hoy, *Technoscience* atribuye un carácter menos glorioso a esta “libertad”, ya que la investigación se lleva a cabo con diferentes propósitos al bien común o a la noble tarea de investigar / conocer, es decir, se acercan a la rentabilidad de investigaciones encargadas con antelación. En este

afán de explorar y capitalizar la ejecución técnica, la tecnociencia influye en la sociedad y en las decisiones que deben tomar las agencias públicas, condicionándolas al aparato científico de sus centros de investigación. El dominio de las líneas de investigación, que se abren o cierran de acuerdo con los intereses de estos centros de investigación, están lejos del conocimiento / control del poder público, lo que, de acuerdo con el precepto constitucional de libertad de investigación termina por reforzar la posición de libertad del científico.

Los movimientos que marcan las estrategias que se desarrollan para lidiar con la relación entre la ley y las investigaciones científicas buscan analizar los siguientes puntos: 1) la presión de la tecnociencia, que aumenta los espacios de toma de decisiones, a expensas de la falta de coincidencia y la completa falta de conocimiento técnico de instancias legales y políticas con respecto a sus asuntos e intereses; 2) la percepción de un sistema legal superado por la complejidad y la incertidumbre, que entrega su tarea principal (decidir) a la ciencia: caracterizar una verdadera “derivación científica” (Pardo, 2015, p. 26) del derecho; 3) al decidir sobre la incertidumbre, valida una ciencia que ha alterado su paradigma sustancial de verdad y certeza, y trabaja con probabilidades; 4) crisis de legitimidad de un sistema político (construido sobre los pilares de la democracia y el orden constitucional) que reclama como una razón para decidir el modelo científico del conocimiento especializado y, 5) desviación del modo característico de decisión de la ley (máximas de experiencia, inversión de la carga de la prueba, etc.).

Se cree que la aparición de una legislación a veces flexible, pero en su esencia firme y activa, “debe crearse para controlar y regular los problemas que han exigido durante mucho tiempo la normalización de la sociedad” (Leite, 2001, p. 116). Con respecto a la gestión legal de los riesgos abstractos derivados de los productos biotecnológicos (que preceden a la fase nanotecnológica), Carvalho (2007, p. 88) propone lo siguiente:

Compromiso de investigar y evaluar dos acantilados abstractos producidos por la manipulación y comercialización de productos biotecnológicos, o manejo de estos acantilados, la Ley deberá indicar

su licitud o ilegalidad. La determinación de la licitud o ilegalidad de dos acantilados se basará en una alta probabilidad de convergencia de estos acantilados en daños irreversibles y una valoración de su magnitud. Para la posibilidad de verificar la ilegalidad de estos acantilados (por su incapacidad), o directamente se deben formar vínculos normativos como futuro, mediante el control procesal y continuación de actividades o productos, establecimiento de estrategias para minimizar estos acantilados, imposición de elaboración de planes de emergencia, medidas preventivas y, en última instancia, prohibición de una actividad o producto (obligaciones de hacer o no hacer).

La ciencia contemporánea se ocupa del conocimiento complejo e interdisciplinario y, por lo tanto, se ha vuelto prudente y cauteloso, alejándose de pronunciamientos rigurosos y categóricos. Sus análisis requieren más tiempo (veinte a treinta años en relación con los riesgos para la salud humana), con el fin de recopilar datos diversos que puedan obtener un conocimiento más detallado del real. Su pronunciamiento ahora se expresa con las probabilidades, que pueden ser altas, pero no ignoran / descartan un margen mínimo de incertidumbre.

Junto con estos cambios, la incertidumbre no puede mantenerse en la ley. No es posible posponer decisiones que requerirían un periodo de análisis prolongado (veinte o treinta años), ni es posible expresarse sobre la base de las probabilidades, al abstenerse de comentar. Estas son consideraciones que resaltan la gran dicotomía establecida entre la ciencia y el derecho, cuando el riesgo y la incertidumbre se convierten en los principales factores de apoyo de la realidad humana, que la gobiernan.

El desafío de decidir la incertidumbre, para la ley resulta de la presión de los dos siguientes elementos: 1) el ritmo del desarrollo tecnológico que propone cada vez más nuevos escenarios de incertidumbre, y 2) la apatía de un sistema legal positivista que enfrenta innumerables dificultades y contradicciones cuando opera bajo incertidumbre, y que fue “construido precisamente en el paradigma contrario, el de la seguridad jurídica, el de la certeza de las referencias que brindan las normas, las declaraciones de la administración o las resoluciones de los tribunales” (Pardo, 2015, p. 70).

Como se ve, la ley no puede extender sus decisiones para esperar los resultados de los estudios científicos (si los hay). Esto obliga a las agencias públicas que toman decisiones a resolver problemas rodeados en una verdadera incertidumbre, sin depender de la ayuda adecuada de la ciencia y quedar completamente huérfanos.

Al tener en cuenta una teoría de la decisión judicial en la incertidumbre, Pardo (2015, p. 72) describe dos objetivos fundamentales que requieren un esfuerzo de renovación y categorización: 1) ubicar, en términos reales y justos, el problema de la decisión legal en la incertidumbre (alejarse de la tendencia a basar sus decisiones en certezas científicas) y desencadenar todo lo que es único y característico, y 2) determinar de manera clara y precisa estos tres elementos constitutivos: a) el elemento subjetivo (el sujeto de la decisión): ¿quién decide?, ¿quién o qué puede o debe participar en la toma de decisiones?; b) el elemento procesal: ¿cómo se decide la incertidumbre?, ¿qué procedimiento debe preceder y dar forma a estas decisiones?, y c) el elemento que introducirá la cuestión fundamental de los criterios de decisiones materiales: ¿qué bienes, valores o referencias se tienen en cuenta al abordar escenarios de incertidumbre reconocida? Junto con esto, y no menos importante, este autor llama la atención sobre la responsabilidad de las decisiones en condiciones de incertidumbre, que pueden surgir como resultado de decisiones tomadas “a ciegas”, por lo que advierte lo siguiente:

Se trata de establecer un régimen de responsabilidad que, según se define, afectará también a la forma en que se toman las decisiones y que, en principio, estará menos comprometido y asumirá menos riesgos si existe un régimen de responsabilidad objetiva. Si, por el contrario, nos encontramos en un sistema de responsabilidad benévola ante los perjuicios que puedan derivarse de decisiones en incertidumbre, entonces los órganos de decisión no estarán tan obligados a considerar el alcance de sus acciones ni a sentirse responsables de ellas. En cualquier caso, no se trata de adoptar un régimen de responsabilidad estricta y laxa, cada uno con sus ventajas y desventajas, sino de adecuar el instituto de responsabilidad civil a este nuevo y complejo entorno donde ciertamente pende la sombra de la incertidumbre, pero



eso no justifica la adopción de decisiones irresponsables. (Pardo, 2015, p. 72)

Con el fin de fortalecer la lógica y las nociones de la ciencia jurídica, la responsabilidad ambiental por los riesgos surge como la herramienta principal para el control inmediato de los actos considerados perjudiciales para el medio ambiente en su conjunto. Aunque nos enfrentamos a un sistema civilista que privilegia la siguiente tríada: nexo causal, ocurrencia de daño y agente causal, es imperativo ir más allá de esta noción, por ejemplo, observar la necesidad de verificar el daño antes de que ocurra la ilicitud y la flexibilidad, nexo causal para la viabilidad del daño, de modo que se pueda lograr una mayor efectividad en la protección de los activos ambientales, en tiempos de rápida difusión de las técnicas nanotecnológicas y sus riesgos desconocidos (Borges *et al.*, 2014). Pese a que nos enfrentamos a un estricto régimen de responsabilidad de una sociedad no industrializada con bajo potencial de riesgo, que se basa sobre todo en la idea de culpabilidad, el hecho es que el desarrollo científico y tecnológico, fortalecido por la Revolución Industrial que innova y aún innova con su alto potencial de riesgo, que ya no encuentra daño para ello, tanto que la nanotecnología en sí misma es su prueba indiscutible.

El análisis realizado hasta el momento indagó, en profundidad, el papel de la ley como agente regulador y legitimó la decisión, y estableció las pautas de un marco legal relacionado con la expansión de la investigación científica en beneficio del interés general. Si bien los preceptos constitucionales se dirigen hacia la libertad de explotación científica, lo que está en juego es, además de la no intervención de las autoridades públicas en la investigación privada (excepto en casos de clara afrenta a los valores superiores), es la clara interferencia de la actividad tecnocientífica en el dominio público, que impone sus propósitos e influye en sus decisiones.

Necesitamos avanzar hacia nuevas investigaciones de nanotecnología, en detrimento de los intereses de todos, y dar más discreción a las autoridades públicas que toman decisiones. La ley necesita recuperar su capacidad de dominar, porque su postura tradicional ya no se corresponde con la realidad de un mundo gobernado por

incertidumbres. Al respecto, Pardo (2015, p. 117) afirma lo siguiente: “abriendo así también la curva de decisión y disposición de las autoridades legítimas para resolver, reclamando una mayor amplitud de investigación y conocimiento, de indudable interés público, que se logra”.

### *Reflexiones sobre las matrices de evaluación y decisión de la ley en escenarios nanotecnológicos*

La ciencia se ha posicionado, dejó atrás la búsqueda de la verdad / certeza y comenzó a atribuir la probabilidad como criterio. Dado este escenario, como ya se estudió, la tarea de decidir recae de forma exclusiva en la ley. Sin embargo, el giro paradigmático que dio la ciencia ha expuesto las deficiencias de un sistema legal incapaz de mirar hacia adentro y construirse a sí mismo.

La investigación científica, que tiene un alto poder de decisión política, decide en lugar de aquellos que en efecto tienen el poder de decidir y esto requiere un cambio. Los espacios marcados por la complejidad técnica condicionan el poder político a los contornos especializados de la investigación científica, en este caso, la investigación nanotecnológica organizada y programada dentro de estructuras económicas y comerciales explotadoras de alta tecnología.

Al construir una teoría de la decisión judicial en la incertidumbre, Pardo llama la atención sobre la necesidad de establecer un régimen de responsabilidad que incluso se acerque a los agentes legítimos, para evitar que se tomen decisiones “ciegas” (Pardo, 2015). La susceptibilidad al riesgo, determinada por la conciencia (conocimiento) y la imposibilidad de verificar su alcance, constituyen un margen de indecidibilidad en el que los instrumentos cognitivos no pueden responder de forma satisfactoria. No hay forma de obtener (al menos a corto plazo y con certeza) el grado en que los compuestos nanotecnológicos pueden actuar al servicio del bien o la autodestrucción (carácter reflexivo), ya que la propagación / contaminación se produce de forma libre, sin ningún control (hecho eso, representaría una verdadera catástrofe, ya que están en todas partes) (Beck, 2011, p. 64).

Las decisiones sobre las susceptibilidades, las amenazas a las que la naturaleza está en potencia expuesta, las responsabilidades que conlleva, las personas afectadas (intertemporal y transfronteriza), los efectos retardados, las demandas de reparación y las medidas a tomar, están dentro de un marco que es necesario que los agentes legítimos lo refinen mejor para decidir, basándose en una acción defensiva y reivindicativa de su espacio natural, alineado con sus propios parámetros de acción y control. Por lo tanto, la (re) construcción de las matrices de evaluación y decisión adecuadas de derecho y poder público debe reflejar la búsqueda de lo siguiente: a) reconocimiento de que el conocimiento científico no tiene un valor absoluto (Pardo, 2015) y neutral (Lacey, 2008), y debe adaptarse a los pronunciamientos constitucionales (Fensterseifer, 2008), en especial al respeto del principio supremo de la dignidad humana (Sarlet, 2012), dada la diferencia práctica entre el entorno del laboratorio y la realidad social / ambiental experimentada (Borges *et al.*, 2014, p. 25); b) fortalecimiento de las pautas éticas en la investigación, de modo que las “apuestas” se dirijan hacia el bien común, con el control más responsable de los procedimientos y la menor interferencia posible con la naturaleza (visible e invisible) (Jonas, 2006); c) falta de control por parte de *Technoscience*, con lo que rompe con la orientación científica, que elimina la ley de sus protocolos y modelos de decisión (Pardo, 2015), con el fin de fortalecer los criterios de legitimidad y seguridad jurídica, reducir las incertidumbres mediante la certeza producida por la misma orden legal; d) reducción de decisiones negativas o de excepción, salvo el régimen legal establecido y la fuente de incertidumbres judiciales con respecto a la inestabilidad de las innovaciones tecnológicas; e) (re) interpretación de la complejidad ambiental (Leff, 2006), con base en sus propios criterios para la evaluación legal, acercándose a la fuente que causa las amenazas y los afectados sociales y ambientales, y alejándose de los requisitos científicos objetivos; f) reconocimiento de que la ley es el territorio en el que se deben suspender las pruebas científicas ante la violación de valores esenciales para el equilibrio de la naturaleza (*in dubio pro natura*); g) fortalecimiento de las presunciones (Pardo, 2015) máximas de experiencia,

inversión de la carga de la prueba, criterios de equidad intergeneracional (Carvalho, 2008) y transparencia en los procedimientos naturales para el sistema legal, capaces de conferir su propia fuerza normativa frente a los riesgos que plantea el uso de la nanotecnología; h) reconocimiento de que el derecho a la voz, la libertad y la investigación científica también deben guiarse por los verdaderos poderes de investigación de los científicos (Latour, 2000), lejos de la interferencia económica e industrial, y evitar la primacía / exclusividad de los grandes conglomerados tecnocientíficos en la formulación de opiniones legales-científicas (Pardo, 2015), e i) defender el derecho a ser informado (Flain, 2011) mediante la implementación del etiquetado de productos de nanotecnología, cuya información debe incluir las manipulaciones realizadas o los compuestos utilizados con esta tecnología.

Los supuestos de causalidad inscritos en los riesgos de la modernización reflejan, por otra parte, una cierta armonía entre la ciencia y el derecho. Esta armonía, según Beck, tiene estrecha relación con el “principio de causalidad”, en el que existe una conciencia inequívoca de que los riesgos modernos (Beck, 2011), por su propio origen y estructura, no pueden interpretarse con suficiencia a partir del análisis causal estricto de riesgos, porque lo que existe no es “el” causante, sino la contaminación que se extiende a lo largo de toda la cadena natural, al aire, las aguas, el suelo, los humanos y los no humanos, males inespecíficos para los cuales se considera una multiplicidad de “causas” (Beck, 2011). Este hecho abre brechas interpretativas que van desde maximizar la refutación hasta minimizar el reconocimiento de la ocurrencia de riesgos / amenazas a mediano / largo plazo que ocasionan nueva contaminación y enfermedades de la civilización, globales, de origen tecnocientífico y nanotecnológico.

Este desafío delinea un camino inadecuado hacia los riesgos de la modernización, en el que la racionalidad se convierte en irracionalidad (frente a la construcción de su propia autodestrucción) y exige de la ley una postura que no se ajuste a la pérdida de todos frente al “Yo tampoco sé”, dicho por la ciencia, y los límites de tolerancia que establece (cuyos efectos se sienten en el mundo real, en el entorno social / ambiental cotidiano, lejos de los entornos

de laboratorio; límites que generan una carga de prueba invertida que atribuyen una falsa atmósfera de normalidad frente a su respeto), con los que crea una verdadera “falacia tecnocrática” (Beck, 2011).

En escenarios nanotecnológicos, sus incrementos apuntan al monitoreo por parte de la ley, que debe observar los siguientes aspectos: 1) la definición científica y política del tiempo y el entorno en el que ocurren; 2) el impacto en el sector industrial y político; 3) las transformaciones industriales siempre irán acompañadas de riesgos; 4) las políticas tienden a estar dirigidas a la fabricación de productos particulares y no a la nanotecnología en sí, lo que causa un aumento de la casuística en la determinación de los hechos; 5) la sociedad estará expuesta a profundos problemas políticos derivados de innovaciones nanotecnológicas inéditas de diferente calidad y propiedades, lo que crea nuevas responsabilidades en torno a la invisibilidad, el poder de locomoción y la autorreplicación, y 6) el monitoreo, la propiedad y el control deben ser evaluados desde lo legal (Martins, 2009).

Por último, pero no menos importante, es necesario fortalecer la autocrítica de la sociedad del riesgo, en específico sobre las amenazas y los riesgos que se ciernen sobre la sociedad global. La descomposición de los valores, que traen las críticas, es parte de un seguimiento de reinicio / reconstrucción con el futuro y una desviación de las tradiciones del pasado, dado el dominio revolucionario implementado por la nanotecnología y sus áreas. Esto nos lleva a creer que, cada vez menos, los axiomas del pasado influirán en los desafíos del presente y en especial del futuro, enfrentándonos con una nueva definición / teoría del empirismo (Beck, 2011) y restaure la fuerza especulativa de la racionalidad (conocimiento) con la realidad invisible y los desafíos que la ley debe enfrentar para garantizarse en este contexto.

### **(In) certidumbre nanotecnológica: un nuevo mundo por un derecho antiguo**

Frente al propósito de estudiar y comprender la influencia del conocimiento científico contemporáneo, centrado en un análisis general del tema que

involucra a la biotecnología y su descendiente más reciente, la nanotecnología, parece que existen numerosas situaciones a las que la sociedad del siglo XXI estará expuesta y, en consecuencia, numerosos riesgos están involucrados.

El ser humano, impulsado sin cansancio por la búsqueda del conocimiento, ha sido capaz de superar barreras nunca antes imaginadas. Este hecho invita a la sociedad a comprender lo que sucede en los círculos científicos, a adoptar una postura más participativa y activa para reducir la mayor cantidad posible de hechos indeseables. En este sentido, Franco (1996, p. 22) muestra que la investigación realizada en el campo de la biología mediante el uso de técnicas cada vez más sofisticadas, “giró y expuso el cuerpo y la psique del ser humano”, y agrega que “el ritmo rápido e irrestricto del progreso, en lo que respecta a las ciencias de la materia, colocará al ser humano frente a sus propios orígenes y frente a posibilidad, cada vez más concreta y cercana, de controlarlos”.

La visión contemporánea descubierta se aleja del antropocentrismo al tecnocentrismo, en el que el ser humano, considerado en el plano individual o inserto en su colectividad, se convierte en un objeto y no en un sujeto de derecho. Todo este desarrollo debilitó y descontextualizó todas las antropologías que dieron lugar a reflexiones preliminares entre ética y derecho. Pero el ser humano, “independientemente de la etapa de evolución científica que esté presente, sigue siendo el ser humano, en su constitución más integral y perfecta”, por lo tanto, todos los actos realizados por él y, en consecuencia, en el medio ambiente, no pueden ser evaluados a diferentes niveles, como afirman ciertos segmentos científicos, o con total libertad y sin control (Leite, 2001, p. 105).

El ser humano, al responder a razones y estímulos muy diferentes, sobre todo enfocados en el mercado lucrativo, que representa el deseo distante y desinteresado de mejorar la vida de las personas en beneficio de la sociedad en su conjunto (como valor universal), se mantuvo en un nivel distante. Sin embargo, incluso frente a esta realidad, solo la ley tiene la tarea de decidir y buscar sus propios parámetros, con base en sus preceptos, principios, fundamentos, presunciones y ficciones, para que permanezca

intacta en esta gran tarea, rescate la seguridad en situaciones de incertidumbre y fortalezca la certeza (seguridad) que es tan peculiar para ella.

Es, preciso, cuando se piensa en esta seguridad y se fortalecen sus razones para decidir, que la noción de redención y equilibrio es urgente, no solo del sistema legal, sino también del entorno en el que todos estamos insertos.

Así, la ciencia abre nuevas coordenadas de decisión, cuya dimensión temporal recorre el futuro y el pasado con libertad y fluidez, y cambia las referencias con las que nos entendemos. En tiempos anteriores, por la incertidumbre que sobreviene, el nuevo conocimiento científico revisó parámetros considerados válidos y, de alguna manera, ya decididos (a favor o no) para el futuro, porque la carga de las decisiones ya no afecta a las generaciones actuales, sino a las futuras (carácter transgeneracional), herederos de incertidumbres y de los resultados de técnicas impredecibles en cuanto a sus resultados reales (Pardo, 2015).

En este contexto, la ley tiene la tarea de tomar decisiones y recrear su poder de decisión sobre la base de una ciencia que genera incertidumbre. El marco legislativo actual no puede mantenerse al día con el progreso científico, en especial en aspectos relacionados con las nuevas técnicas nanotecnológicas, alejándose de la tan deseada efectividad y seguridad jurídica (valores intrínsecos y estructurantes del derecho). En palabras de Hohendorff y Wunsch (2015):

Por tanto, hay más dudas que certezas. Este es un punto fundamental para la regulación de las nanotecnologías: en lugar de la certeza y previsibilidad del modelo positivista, el Derecho pasa a una nueva etapa donde la incertidumbre y la imprevisibilidad del comportamiento de las partículas y sus efectos acompañarán al proceso regulador. En lugar de predicciones generales y previas, el mundo legal debe producir respuestas alineadas constitucionalmente para cada caso específico, tomando precisamente en cuenta la fluidez de las nanopartículas y sus características e interacciones inusuales.

Comenzamos a darnos cuenta de que el conocimiento pasa de ser un bien abierto al interés general, accesible, sin reservas para las autoridades

públicas, a un producto que se calcula y produce en aras de ciertos intereses privados y comerciales. En esta línea de visión, una de las características más saludables de *Technoscience* es su pretensión de influir en la sociedad y dominarla siempre que sea posible (Pardo, 2015). Ante la amplia posibilidad de convertirse en “ingenieros de la vida misma” (Rifkin, 1999), nos vemos obligados a cuestionar las direcciones y responsabilidades de este nuevo conocimiento científico que modifica las estructuras y altera los compuestos a nivel de nanoescala.

¿Estamos preparados para vivir esta nueva ciencia? ¿Estamos listos para embarcarnos en esta revolución sin siquiera saber a dónde vamos? ¿Está la sociedad preparada para seguir el ritmo de este desarrollo que parece nacer con ropa anticuada, ante el ritmo con el que se anuncian los descubrimientos? ¿Estamos legalmente capacitados para regular este asunto que se presenta con venas complejas de comprensión y alcance, hasta el punto de que se puedan establecer pautas efectivas para el control y la responsabilidad de los actos y decisiones? Las preguntas son numerosas y merecen una reflexión. Como advirtieron Hohendorff y Wunsch (2015),

Las cuestiones relacionadas con los riesgos y la responsabilidad por daños futuros están vinculadas a las características que aportan las nanopartículas: los efectos físico-químicos de los materiales a nanoescala difieren de sus equivalentes a mayor escala. Además, se desconoce un inventario donde sea posible investigar la cantidad, tipo y caracterización de nanopartículas ya desarrolladas a través de la acción humana. Hace más de dos décadas, los estudios toxicológicos [...] ya advertían que sería prudente examinar y abordar las preocupaciones ambientales y de salud humana antes de la adopción generalizada de las nanotecnologías. Con la excepción de algunas aplicaciones médicas de la nanotecnología, los gobiernos, las empresas e incluso las universidades han ignorado este consejo. Como resultado, los gobiernos han permitido que se comercialicen cientos, quizás más de mil, productos de consumo con materiales de nanoingeniería incorporados, sin ninguna evaluación de seguridad previa a la comercialización. A pesar de esto, nuevos estudios continúan señalando efectos tóxicos.



Por este potencial transformador, el siglo XXI comienza “con la revolución del cuerpo” (Santos, 2006, p. 204), caracterizada por la práctica de la fertilización fuera del útero, la criopreservación de gametos, tejidos, membranas y células, la manipulación genética, cada vez más rutinaria, la clonación y la creación de materiales nanotecnológicos ultrarresistentes capaces de reemplazar compuestos orgánicos, entre muchos otros ejemplos. En esta área, “los sabios, los médicos y los juristas están llamados a responder, así como al propio Estado” (Leite, 2001, p. 109), porque tal progreso al final genera sentimientos de miedo y desconfianza. Según Pereira (2001, p. 204):

al pensar en una política de ciencia y tecnología para el Estado, los temas se vuelven más complejos, a medida que la ciencia moderna se encarece cada vez más; se agravan las desigualdades y las necesidades sociales; al mismo tiempo, ninguna sociedad contemporánea puede igualar a las demás sin un fuerte apoyo científico y tecnológico; además, la planificación no podría estar ligada a intereses inmediatos, partidistas o corporativistas, en definitiva, las estructuras no se ajustan a nuevas realidades y necesidades.

Parece que la razón científica funciona como una lógica con supuesta independencia de los factores o deseos personales. La formulación de leyes que existen independientes de las personas se convirtió en su objetivo. Sin embargo, sus legitimadores son personas que expresan cierto interés personal en el poder de la ciencia, un hecho que tarde o temprano resultará en responsabilidad, ya que las preguntas abundan y muchas veces no tienen respuesta.

Cuando se habla de los objetivos comerciales relacionados con los avances científicos y tecnológicos de este nuevo siglo, no se puede dejar de mencionar la participación de la industria y de sectores de la economía cada vez más centrados en el desarrollo nanotecnológico, interesados en monopolizar y personalizar la investigación científica, con las que crean una verdadera cadena de bioindustrias, a saber:

El desarrollo científico se trasladó a la industria. La sociedad tiene muy poco control sobre los

productos y procesos que se están llevando a cabo, ya que el desarrollo científico ahora está controlado virtualmente y solo por las grandes industrias, sin comprensión, discusión, adaptación y absorción más equitativa de las aplicaciones de la ciencia. Si antes el seguimiento de la sociedad y la absorción del conocimiento se hacía a un ritmo y de forma más participativa, ahora el carácter de esta producción ha cambiado. (Degrave, 2000, p. 69)

Se espera que todo este progreso, este avance científico, se disponga a favor, en beneficio de otros, del ser humano como persona, independiente de la raza, la situación cultural, social, económica y política. Es en este contexto en el que las normas deben continuar apareciendo y los debates intensificándose.

La ley, a su vez, debe vigilar de cerca las cuestiones relacionadas con el poder de la tecnociencia, sus alcances y responsabilidades, establecer límites, pero sin que resulten en contratiempos u obstáculos para el desarrollo científico, convirtiéndose en un aliado importante para mejorar las condiciones de vida (que abarquen la vida presente y futura), así como en términos de salud y bienestar humanos, para equilibrar y correlacionar todos los intereses de la vida, del bien humano y, en consecuencia, del bien ambiental.

La ciencia clásica tradicional buscaba la verdad, según los criterios del científico, y solo observaba los resultados. Una vez se llegó a la verdad, hubo espacio para la aplicación técnica de estas verdades, que por lo general se desarrollaron con el tiempo (a lo sumo, tarde), y por personas y empresas casi siempre no relacionadas con el universo de la investigación científica. Hoy, como se dijo, la ciencia abandonó la certeza y se guía por una tecnociencia que se preocupa por objetivos y criterios predeterminados de utilidad y rentabilidad en un mercado del todo enfocado en las ganancias y la proyección individual.

Este escenario nos muestra que la investigación científica decide qué se le da al poder político para decidir. Su poder de toma de decisiones políticas es parte de un sistema que se transformó, cada vez más, en la regla, y gana una enorme fuerza en términos de dominación. En los espacios marcados por la complejidad técnica, se puede decir que el



poder político está condicionado y preso por la investigación científica. Este último está marcado, organizado y programado dentro de poderosas estructuras empresariales e industriales.

Ya no se le da al científico la decisión sobre las líneas y objetivos de la investigación. La aplicación técnica precede a la búsqueda de la verdad y la indagación de propósito común. Primero, los análisis de la aplicación y el rendimiento se explorarán y cuantificarán tanto como sea posible y, sobre la base de estos pronósticos, se decidirá si la investigación seguirá cualquiera de las líneas, siempre que sean compatibles con el apoyo financiero requerido para sus pronósticos de ingresos.

En este diapasón, lo que ves es una ciencia que expande cada vez más la autoridad de su conocimiento sobre la inseguridad de las instancias públicas. Al tener un dominio completo y efectivo sobre las líneas de investigación, que se abren o cierran en vista de intereses lucrativos (a veces no científicos), existe un vaciado del contenido material de las normas legales, que al final se enfocan en los aspectos formales o de procedimiento, mientras que las determinaciones materiales sustantivas están en manos de expertos en tecnociencia.

A partir de una orientación científica (que confiere la corrección de su decisión a lo que se considera la mejor categorización científica y técnica), la ley sigue fascinada por la ciencia y sus conceptos, incluso en escenarios de incertidumbre y complejidad científica. Sumergida en su visión antropocéntrica (positivista y garante), la norma establece parámetros que utilizan la mejor técnica como solución para el caso específico; lo que denota su incapacidad para resolver y asumir parámetros de control natural.

La libertad de investigación es un derecho constitucional y, como tal, debe permanecer y ser respetada. Sin embargo, debemos luchar por un amplio alcance de la investigación, que brinde más conocimiento y más opciones a las autoridades públicas con responsabilidades en la toma de decisiones, que permita que la ley recupere su dominio y capacidad de acción, por un marco legal favorable no solo a los intereses de los seres humanos, sino incluso de la naturaleza misma.

## Conclusión

Es cada vez más común para la ley, en especial en este siglo, la necesidad de enfrentar situaciones inusuales derivadas de los avances científicos. No solo son sorprendentes las revelaciones sobre el conocimiento teórico acerca de la intimidad de los mecanismos de creación y reproducción de la vida humana, sino también la rápida transformación de este conocimiento en innovaciones tecnocientíficas audaces de forma directa aplicables a la mejora de la salud, de las condiciones de vida y, como el deseo más entusiasta, a la creación artificial de su propia vida, de su propia existencia.

Con esto se siguió un gran camino evolutivo, en el que el conocimiento empírico catalogado (observación) dictó las reglas de la ciencia clásica, cuyos parámetros han sido refinados desde entonces. La búsqueda incesante del conocimiento y la comprensión del proceso de la vida en el planeta han llevado a los científicos genuinos a inclinarse y dedicar sus vidas al progreso científico y al bien común. Tal dedicación, a veces reconocida *post mortem*, trazó los dictados del desarrollo científico actual, incluso cuando se logró en un momento en el que la tecnología aún no estaba presente y las dificultades eran considerables.

Desde esta base y junto con el uso actual de la tecnología en la preparación y desarrollo de la investigación, hubo un aumento y una mayor variabilidad de posibilidades y resultados. En un gran salto, pudimos conocer y decodificar materiales genéticos, separar sus componentes, individualizar sus estructuras, conocer sus funciones, combinarlos y recombinarlos en una multitud de procedimientos y técnicas. Esta posibilidad rompió con el paradigma inicial de observación y convirtió en realidad lo que alguna vez se consideró un escenario de ficción.

En poco tiempo, pasamos de la observación a la creación. En particular, el cuerpo humano y la vida humana son parte de una investigación intrigante e inquietante que busca sin cesar la copia o el modelo de perfección en el que la existencia eterna y la subsistencia están garantizadas. En este contexto, el conocimiento científico amplió sus fundamentos al brindar una mejor comprensión de los

conceptos de “gen” y “DNA” a lo largo del siglo xx, y allanó el camino para la revolución biotecnológica que vivimos en la actualidad (Lacey, 2008). Se han creado nuevos conceptos y posibilidades (como organismos de genética modificada, clonación, inseminación artificial, criopreservación de gametos y tejidos) que propician que la investigación en esta área sea aún más prominente.

Esta “nueva ciencia” de la biotecnología está en su apogeo y mejora sus avances junto con la nueva revolución que se anunciará, la “revolución invisible”, es decir, la revolución nanotecnológica. Pasamos de la “nueva ciencia” (biotecnología) al “nuevo mundo” (nanotecnología), no en el sentido de principio y fin, sino en un presagio de simbiosis cuyo alcance y predicción aún son imposibles de medir. Estas dos áreas importantes del conocimiento actual van de la mano y se cruzan, legitimándose de forma mutua sin exageración o intrusión.

Ante la tríada formada por la tecnología, la biotecnología y la nanotecnología, estamos invitados a (re) pensar y tratar de comprender qué tipo de “creadores” y “criaturas” seremos.

Nunca ha sido más urgente como ahora llevar la necesidad de conocimiento a la agenda. Conocimiento que busca agregar generaciones a un fin común de respeto y continuidad. Y en esta búsqueda de conocimiento integrado nos encontramos con el desafío apremiante de integrar las ciencias en un solo comando, no más individual, como estábamos acostumbrados. Integralidad que busca razones epistemológicas y debate interdisciplinario por su fortaleza, para que podamos prepararnos y resolver lo que en realidad queremos ser.

Una vez que podamos manipular genes, recombinar códigos genéticos y trabajar a nanoescala, se cambian las estructuras atómicas y ha llegado el momento de repensar hacia dónde vamos y qué queremos. La tarea es compleja, está llena de preguntas y los pronósticos, aunque la mayoría prometen excelentes resultados, tienen un alcance incierto, lo que motiva que el control de estas técnicas, a mediano y largo plazo, sea aún más incierto. Por lo tanto, comprender los vínculos de esta ciencia que crea conceptos y nuevas concepciones de la vida y la salud fue el aspecto

principal de este estudio, en un intento por formar la base para la reflexión esencial, no menos importante, del papel de la ley en tiempos de incertidumbre científica.

Cabe mencionar que la tecnociencia, junto con la biotecnología y la nanotecnología, cuando se aplican, en ocasiones inauguran nuevos patrones de comportamiento y arreglos orgánicos que se incorporan a la vida cotidiana de las personas, cambian las sociedades y la forma como conciben la vida (por ejemplo, se cita la aplicación terapéutica de nanobiosensores y nanofarmacéuticos).

Junto con estos estándares o la mera promesa de nuevos estándares surgen preocupaciones con los seres humanos, la sociedad y el medio ambiente, ya que sobre ellos actuarán. Los resultados se mostrarán. Dada esta tarea, está claro que la ley está atrapada en su eje antropocéntrico de certeza y seguridad. El surgimiento y la difusión de las técnicas nanotecnológicas ha expuesto el hilo de la ley como más débil frente a la expansión de la incertidumbre en las sociedades contemporáneas. Esta exposición trajo la necesidad de reformular y crear sus propios parámetros de decisión, al considerar que los actuales no son suficientes frente a esta nueva empresa.

El sesgo científico actual, evidente en este estudio sobre cuestiones de nanotecnología, reconoce su fragilidad en la creación de certezas y en un intento por minimizar los riesgos, y comienza a funcionar con probabilidad. Este hecho no reduce ni exime el deber de las autoridades públicas de tomar decisiones en entornos de incertidumbre.

Como se explicó, es necesario romper los lazos científicos para encontrar una razón y un método legítimo para tratar las preguntas en situaciones de incertidumbre. La ley ya no tiene la posibilidad de presentarse como un mero espectador de las razones científicas y cumplirlas (como la única fuente de legitimación), ya que se le da el poder de decidir, no sobre la base de la probabilidad, sino de crear, generar y mantener certezas.

Esto no quiere decir que el progreso científico sea indeseable o que debamos crear límites legislativos para evitar futuras investigaciones. Al contrario. Se debe otorgar el mismo poder científico a la ley y a las autoridades públicas encargadas de

tomar decisiones, con la creación de bases sólidas que, junto con las científicas, puedan proporcionar al científico y a todos el bien común, sobre todo en situaciones de incertidumbre.

Esto solo será posible al vincular la limitación de riesgos con una política de difusión masiva de beneficios tecnológicos. La regulación, sin estar ligada a una política científica y tecnológica, conducirá a la producción de bienes nanotecnológicos concentrados en países ricos o empresas multinacionales, y a transformar a países pobres o emergentes, como Colombia y Brasil, en simples consumidores de nanotecnología. Esto solo será posible con reglas de derecho internacional que creen formas de gobernanza internacional de los avances científicos y tecnológicos, y eviten (o disminuyan) la concentración del poder económico en unos pocos países o empresas.

En este sentido, la respuesta al problema investigado en este artículo es positiva, ya que la percepción de la existencia de riesgos e incertidumbres nanotecnológicas tiene un alcance directo y motiva que sea apropiado estudiar sus efectos sobre cuestiones ambientales y legales. También es digno de mención que el objetivo lanzado se cumplió, porque se puso de manifiesto la necesidad de (re) pensar en los desafíos que la nanotecnología impone a la eficacia de la ciencia jurídica, en función de su fortalecimiento, antes de crear matrices de decisión que consoliden y/o recreen las existentes (a saber: el respeto por el principio de la dignidad humana, preceptos éticos en la investigación científica, presunciones sobre la naturaleza, inversión de la carga de la prueba, máximas de experiencia, el derecho a información, etc.), de modo que se controlen los intereses en esencia explotadores, al tiempo que se minimizan los riesgos derivados de ella.

Lejos de agotar este tema, que necesita más estudio, se concluye que es necesario tener en cuenta la figura del ser humano como un sujeto partícipe y responsable de sus acciones, incorporado al entorno y partícipe de él. Es una relación de simbiosis constante. Esta visión es apropiada en cualquier segmento científico que sobresalga por razones que están dirigidas al bien común, social, legal y ambiental, y a la preservación de la naturaleza.

## Referencias

- Almeida, P. R. de. (2005). O Brasil e a nanotecnologia: rumo à quarta revolução industrial. *Revista Espaço Acadêmico*, 52. <http://www.espacoacademico.com.br/052/52almeida.htm>.
- Beck, U. (2011). *Sociedade de risco: rumo a uma outra modernidade*. 2ª. edição. Editora 34.
- Borges, I. C. P., Gomes, T. F. y Engellmann, W. (2014). *Responsabilidade Civil e Nanotecnologias*. Atlas.
- Carvalho, D. W. de. (2007). As movas tecnologias e os riscos ambientais. En J. R. M. Leite y P. R. Á. Fagúndez (orgs.), *Biossegurança e novas tecnologias na sociedade de risco: aspectos jurídicos, técnicos e sociais*. Conceito Editorial.
- Carvalho, D. W. de. (2008). *Dano ambiental futuro: a responsabilização civil pelo risco ambiental*. Forense Universitária.
- Casabona, C. M. R. (2002). Genética e Direito. En C. M. R. Casabona (org.), *Biotecnologia, Direito e Bioética: Perspectivas em Direito Comparado*. Del Rey.
- Degrave, W. (2000). O poder e as responsabilidades do conhecimento científico. En F. Carneiro y M. C. Emerick, *Limites: a ética e o debate jurídico sobre o acesso e o uso do genoma humano*. Fiocruz.
- Dupas, G. (2017). *Os riscos das nanotecnologias*. [http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20080816/not\\_imp224980,0.php](http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20080816/not_imp224980,0.php).
- Engellmann, W. (2010). Direitos Bio-Humano-Éticos: *Os humanos buscando direitos para proteger-se dos avanços e riscos (desconhecidos) das nanotecnologias*. Anais XIX Encontro Nacional do Conpedi. <http://www.conpedi.org.br/manaus/arquivos/anais/fortaleza/3400.pdf>.
- Fensterseifer, T. (2008). *Direitos fundamentais e proteção do meio ambiente: a dimensão ecológica da dignidade humana no marco jurídico constitucional do estado socioambiental de direito*. Livraria do Advogado.
- Flain, V. S. (2011). A nanotecnologia e o direito do consumidor à informação: perspectivas de proteção na sociedade de risco. *Revista da Faculdade Mineira de Direito*, 14(28), 31-52.
- Franco, A. S. (1996). Genética Humana e Direito. *Bioética: Revista do Conselho Federal de Medicina*, 4(1).
- Hohendorff, R. V. y Wunsch, G. (2017). *As nanotecnologias e os seus impactos na sociedade e no mundo do trabalho*. <http://emporiiodireito.com.br/as-nanotecnologias-e-os-seus-impactos-na-sociedade-e-no-mundo-do-trabalho-por-guilherme-wunsch-e-raquel-von-hohendorff>.

- Jonas, H. (2006). *O princípio responsabilidade: ensaio de uma ética para a civilização tecnológica*. Contraponto.
- Lacey, H. (2008). *Valores e atividade científica*. 2ª. edição. Editora 34.
- Latour, B. (2000). *Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora*. UNESP.
- Leff, E. (2006). *Epistemologia Ambiental*. 4ª. edição. Cortez.
- Leite, E. de O. (2001). O direito, a ciência e as leis bioéticas. En M. C. C. L. Santos (org.), *Biodireito: Ciência da vida, os novos desafios*. Revista dos Tribunais.
- Lipovetsky, G. (2009). *O Império do efêmero: a moda e seu destino nas sociedades modernas*. Companhia das Letras.
- Martins, P. (2009). Nanotecnologia e meio ambiente para uma sociedade sustentável. *Estúdios Sociales*, 17(34), 293-309.
- Pardo, J. E. (2015). *O desconcerto do Leviatã: política e direito perante as incertezas da ciência*. Instituto O Direito por um Planeta Verde.
- Pereira, M. R. A. (2001). possibilidade e a necessidade de resgate da perspectiva ético-científica. En: M. C. C. L. Santos (org.), *Biodireito: Ciência da vida, os novos desafios*. Revista dos Tribunais.
- Rifkin, J. (1999). *O século da biotecnologia: a valorização dos genes e a reconstrução do mundo*. Makron Book.
- Santos, B. de S. (2006). *A gramática do tempo: para uma nova cultura política*. Cortez.
- Sarlet, I. W. (2012). *Dignidade da pessoa humana e direitos fundamentais na Constituição Federal de 1988*. 9ª. edição. Livraria do Advogado.
- Sartori, I. R. G. (2005). *Células Tronco. O direito*. <http://jus.com.br/artigos/7186/celula-tronco-o-direito>.
- Silva, M. B. da. (2003). Nanotecnologia: considerações interdisciplinares sobre processos técnicos, sociais, éticos e de investigação. *Revista Impulso*, 14(35).
- Silva, R. P. (2003). *Biodireito: a nova fronteira dos direitos humanos*. LTr.
- Steinmetz, M. (s / d.). *Nanotecnologia*. [www.unibrattec.com.br/jornadacientifica/diretorio/FEEVALEMS.pdf](http://www.unibrattec.com.br/jornadacientifica/diretorio/FEEVALEMS.pdf).
- Telles, J. L. (2003). Bioética, Biotecnologias e Biossegurança: Desafios para o século XXI. En S. Valle y J. L. Telles, *Bioética e biorrisco: abordagem transdisciplinar*. Inter-ciência.
- Vieira, T. R. (1999). *Bioética e Direito*. Jurídica Brasileira.

