

## **O PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO: DIRETRIZES PARA SUA APLICAÇÃO EMPÍRICA**

### **THE PRECAUTIONARY PRINCIPLE: GUIDELINES FOR ITS EMPIRICAL APPLICATION**

**Resumo:** O princípio da Precaução é amplamente aplicado em cenários de riscos de danos ambientais. Ele serviu e serve para direcionar a elaboração de importantes legislações ambientais brasileiras. O fato é que apesar de existir um conceito pacificado entre os doutrinadores do Direito Ambiental sobre o que é o Princípio da Precaução, quando se exige a sua aplicação empírica, uma série de questionamentos e discordâncias se revelam. Para tanto, a presente pesquisa objetiva demonstrar as diretrizes para a aplicação empírica do Princípio da Precaução com base no conceito firmado na Rio 92. Utiliza-se da metodologia exploratória e método de abordagem indutivo, bem como da pesquisa bibliográfica como procedimento técnico para pesquisa doutrinária e legal. Concluiu-se que para uma abordagem capaz de aplicação empírica do Princípio da Precaução faz-se importante inicialmente compreender suas partes (riscos, estado da técnica e medidas economicamente viáveis). A partir da compreensão de suas “partes” foi possível elaborar um quadro-resumo com suas diretrizes de aplicação.

**Palavras-chave:** Princípio da Precaução; Direito Ambiental; Diretrizes;

**Abstract:** The precautionary principle is widely applied in environmental damage risk scenarios. It served and serves to direct the elaboration of important Brazilian environmental legislation. The fact is that although there is a pacified concept among the doctrinaires of Environmental Law about what the Precautionary Principle is, when its empirical application is required, a series of questions and disagreements are revealed. Therefore, this research aims to demonstrate the guidelines for the empirical application of the Precautionary Principle based on the concept established in Rio 92. It uses the exploratory methodology and inductive approach method, as well as bibliographic research as a technical procedure for doctrinal research and in legislation. It was concluded that for an approach capable of empirical application of the Precautionary Principle, it is important to initially understand its parts (risks, state of the art and economically viable measures). From the understanding of its "parts" it was possible to create a summary table with its application guidelines.

**Key-words:** Precautionary Principle; Environmental Law; Guidelines;

## **INTRODUCCIÓN**

El Principio de Precaución se encuentra como una guía para la legislación ambiental brasileña, ya que existen determinaciones de los modos de protección, con el objetivo de prevenir el daño ambiental. De este modo, el principio se aplica ampliamente, tanto inspirado en la elaboración de nuevas leyes como en escenarios de riesgos de daño ambiental cuando la legislación no existe y la toma de decisiones es una medida necesaria.

Precaución es: precauciones que se deben tomar cuando existen incertidumbres científicas respecto al daño ambiental potencial de una determinada actividad. Esta definición

está zanjada entre los doctrinarios del Derecho Ambiental, pero cuando se trata de la aplicación del Principio, se revelan una serie de cuestionamientos y desacuerdos.

Por esta razón, el problema de investigación de este artículo es: ¿cuáles son los lineamientos para la aplicación empírica del Principio de Precaución? Como hipótesis para la solución del problema, la investigación parte del uso del concepto de aplicación del Principio 15 de Río 92, por ser de consenso internacional, así como por aportar elementos capaces de ayudar a orientar su comprensión y aplicación, que son: riesgo, estado del arte y medidas económicamente viables.

La presente investigación tiene como objetivo demostrar los lineamientos para la aplicación empírica del Principio de Precaución a partir del concepto establecido en Río 92. Utiliza la metodología exploratoria y el método de abordaje inductivo, así como la investigación bibliográfica como procedimiento técnico para la investigación doctrinal y jurídica.

## **EL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN: SU CAPACIDAD DE APROXIMAR EL ESCENARIO PRESENTE A LOS DAÑOS FUTUROS.**

La precaución proviene del sufijo latino "*cautio*", un concepto de "*cuidado*". La precaución es, por tanto, la "posición previa a la garantía o aval de algo o, como propone la estructura latina, se sitúa en un punto de decisión anterior a la prevención, precepto también presente en el derecho ambiental". (MINASSA, 2018).

Los registros del origen del Principio de Precaución derivan de la legislación alemana de 1959, concretamente en la Ley sobre el uso pacífico de la energía nuclear y la protección contra sus peligros, denominada Ley de Energía Atómica (*Atomgesetz*). En 1974, se creó la política medioambiental alemana bajo el nombre de "*vorsorgeprinzip*", así como en la Ley Federal de Protección de Emisiones (*Bundes-Immissionsschutzgesetz*) en vista de la necesidad de "precaución contra los efectos ambientales nocivos y otros riesgos" (BUNDESMINISTERIUM).

Además, el principio tiene sus primeras apariciones en la Ley Sueca de Protección del Medio Ambiente de 1969, introduciendo los pasajes de la ley que establecen que las agencias están autorizadas a prohibir actividades en precaución contra los efectos nocivos sobre el medio ambiente (SUNSTEIN, 2005, p.16).

Ciertamente, el origen del Principio de Precaución está relacionado con los acontecimientos derivados de la Revolución Industrial, cuando los recursos naturales comenzaron a impregnarse demasiado en la industrialización, así como los combustibles fósiles

fueron la principal fuente de "energía". (CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y EL DESARROLLO).

En vista de esto, el Convenio de Estocolmo en 1972 y posteriormente Río en 1992, trajeron importantes discusiones al escenario internacional en torno a la protección del medio ambiente. Tanto es así que el concepto de lo que es el Principio de Precaución, denominado a nivel nacional e internacional por los estudiosos del medio ambiente, se deriva del Principio 15 de RIO 92. (CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y EL DESARROLLO). Farber menciona que la afirmación más conocida sobre el principio de precaución es la que se encuentra en la Declaración de Río 92, especialmente en los pasajes: "para proteger el medio ambiente, el enfoque de precaución debe aplicarse de acuerdo con sus capacidades", y que, dadas "las amenazas de daños graves o irreversibles, la falta de certeza científica no debe utilizarse como razón para posponer los costos", es decir, medidas efectivas para prevenir la degradación del medio ambiente". (FARBER, 2015).

El Principio de Precaución también está previsto en el artículo 225 de la Constitución Federal, además de otras leyes: Ley de Delitos Ambientales, Ley de Bioseguridad, Ley de Política Nacional sobre Cambio Climático, Ley de Política Nacional de Residuos Sólidos, Convenio sobre la Diversidad Biológica y Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático<sup>1</sup>.

Artículo 225. Toda persona tiene derecho a un medio ambiente ecológicamente equilibrado, bien de uso común de la población y esencial para una calidad de vida sana, que impone al Gobierno y a la comunidad el deber de defenderlo y preservarlo para las generaciones presentes y futuras.

Parágrafo 1º - Para asegurar la efectividad de este Derecho, corresponde a la Autoridad Pública:

[...]

V – controlar la producción, comercialización y uso de técnicas, métodos y sustancias que representen un riesgo para la vida, la calidad de vida y el medio ambiente; [...]

Así, se puede decir que el Principio de Precaución se encuentra como una guía para la legislación ambiental brasileña, ya que existen determinaciones para que el Gobierno defina las

---

<sup>1</sup> "Artículo 3. Las Partes adoptarán medidas de precaución para prever, evitar o mitigar las causas del cambio climático y mitigar sus efectos negativos. Cuando surjan amenazas de daños graves o irreversibles, la falta de plena certeza científica no debe utilizarse como razón para posponer dichas medidas, teniendo en cuenta que las políticas y medidas adoptadas para hacer frente al cambio climático deben ser eficaces en función de los costos, a fin de garantizar los beneficios mundiales al menor costo posible. Con este fin, estas políticas y medidas deben tener en cuenta los diferentes contextos socioeconómicos, ser exhaustivas, abarcar todas las fuentes importantes, sumideros y depósitos de gases de efecto invernadero y las adaptaciones, y abarcar todos los sectores económicos. Las partes interesadas pueden hacer esfuerzos, en cooperación, para abordar el cambio climático". En: BRASIL. **Decreto N° 2.652 de 1º de julio de 1998.**

formas de protección y evaluación de impacto, con el objetivo de prevenir el daño ambiental (ANTUNES, 2016, p.39).

Los estudios presentan diversas y distintas definiciones y formas de aplicación. De la forma más débil a la más fuerte. En la versión débil, "la falta de pruebas decisivas de daño no debería ser una razón para negarse a regular". (SUNSTEIN, 2005, p.18). En el intermedio, el objetivo es el equilibrio entre todos los diferentes aspectos que intervienen en el caso concreto, favoreciendo la racionalidad y la solución de compromiso entre los diferentes actores. (ANTUNES, 2016, p.41) En la versión fuerte, se sugiere la regulación siempre que exista un posible riesgo, lo que representa una acción extrema (SUNSTEIN, 2005, p.18-24).

Debido a la falta de definición, los estudiosos determinan que el Principio de Precaución es "innovador, pero irresponsable, generalizado, pero arbitrario y significativo, pero imprudente". (OSCURO; BURGÍN, 2017). Debido a esto, el Principio ha sido muy criticado y por ser abstracto tiene importantes y serias dificultades de aplicación empírica.

Precisamente, esta cuestión induce a un escenario de ambigüedad cuando los expertos discrepan con el marco (fuerte, débil, moderado) para llevar a cabo la gestión de riesgos, los cuales están llenos de incertidumbres y plantean interrogantes como los citados por el autor Stirling (2010).

Los problemas de ambigüedad surgen cuando los expertos no se ponen de acuerdo sobre el marco de las posibles opciones, contextos, resultados, beneficios o daños. Al igual que la incertidumbre, éstas no pueden reducirse al análisis de riesgos y requieren un tratamiento plural y condicional. Estos métodos pueden poner de relieve, en lugar de ocultar, diferentes preguntas regulatorias, tales como: "¿cuál es mejor?", "¿qué es más seguro?", "¿es esto seguro?", "¿es esto tolerable?" o (como suele ser rutinario) "¿es esto peor que lo que tenemos ahora?"

Para enfrentar el concepto y aplicación del Principio de Precaución y explorar para presentar lineamientos para su aplicación, se utilizó su mejor definición y más utilizada a nivel mundial, es decir, el artículo 15 de la Declaración de Río 92:

Principio 15: Con el fin de proteger el medio ambiente, el **principio de precaución** debe ser ampliamente observado por los Estados, de acuerdo con sus capacidades. Cuando exista una amenaza de daño grave o irreversible, la ausencia de certeza científica absoluta no se utilizará como razón para posponer medidas económicamente viables para prevenir la degradación ambiental.

Por lo tanto, para activar el Principio de Precaución basado en el Principio 15 de Río 92, es importante entender su composición, que es: i) amenaza de daño grave o irresistible, que son los riesgos relacionados con las actividades; ii) ausencia de certeza científica absoluta; iii) medidas económicamente viables para prevenir la degradación del medio ambiente.

## EL RIESGO

Las amenazas<sup>2</sup> (ADAMS, 2009, p. 26-40) de daño grave o irresistible son, de hecho, los riesgos intrínsecos que tienen las actividades que utilizan los recursos ambientales de causar daño (LUHMANN, 2005, p. 144). Los riesgos son, por lo tanto, una incertidumbre de ocurrencia, por lo que lo incierto no es algo (in)existente. Sus dimensiones o severidades no están claramente indicadas. Lo incierto "puede ser una hipótesis, algo que aún no se ha verificado o no se ha verificado". Pero, según el Principio de Precaución, el hecho de que lo incierto sea desconocido o incomprendido indica que debe ser evaluado o investigado (MACHADO, 2018, p. 2188-2189).

Ben y Engelmann (2021) mencionan que el riesgo se refiere a lo que se sabe sobre probabilidades, que se calculan sobre bases científicas, y efectos, que están bien definidos. La incertidumbre, por su parte, podría definirse cuando, aunque hay confianza en la integridad y plenitud de un conjunto definido de efectos, no existe una base teórica o empírica en cuanto a la probabilidad de que ocurran los efectos.

Luhmann diferencia entre riesgo y peligro. El riesgo brinda una oportunidad para la toma de decisiones, porque la comunicación está enfocada al futuro, y es necesario racionalizar en el futuro sin que siquiera haya ocurrido, a través de un autoanálisis del sistema para promover el control de una determinada amenaza. El peligro representa la imposibilidad de anticipar, debido al desconocimiento de la causa y consecuencia de un determinado hecho (LUHMANN, 2005, p. 144).

Los riesgos son reales e irreales al mismo tiempo. Por un lado, están las amenazas y destrucciones que ya son muy reales: la contaminación o muerte de las aguas, la desaparición de los bosques, la existencia de nuevas enfermedades, etc. Por otro lado, la verdadera fuerza social del argumento del riesgo reside precisamente en los peligros que se proyectan hacia el futuro (MACHADO, 2014, p.95).

Leite y Ayala resumen que la Precaución puede conceptualizarse como la búsqueda de la eliminación, en el tiempo y en el espacio, del peligro, así como en la búsqueda de protección contra el propio riesgo y en el análisis del potencial dañino derivado del conjunto de actividades. Por lo tanto, el principio busca "prevenir un peligro sospechoso ahora o garantizar un margen

---

<sup>2</sup> La amenaza se define como algo que podría causar daño y el riesgo es el resultado de multiplicar la probabilidad por la amenaza. Si no sabes con certeza lo que va a pasar, pero conoces las probabilidades, eso es riesgo, pero si ni siquiera conoces las probabilidades, es incertidumbre, luego amenaza. (ADAMS, 2009, p. 26-40)

suficiente de seguridad de la línea de peligro". (LEITE; AYALA, 2011, p.53-54). Machado limita la visión maximalista de la Precaución al mencionar que "no es cualquier riesgo el que desencadenará un procedimiento de control, sino el riesgo significativo". (MACHADO, 2018, p. 2188-2189). Sin embargo, para decir si un riesgo es significativo o no, debe ser conocido, evaluado, medido y gestionado. Por lo tanto, la pregunta que surge es: ¿cuál debe ser el margen de seguridad y a qué riesgos se debe aplicar este margen? (SUNSTEIN, 2005, p. 119).

Definir qué se entiende por amenaza hipotética, pero plausible, que daría lugar a la adopción de políticas públicas precautorias con sus correlacionadas cargas, es una medida esencial para desencadenar la Precaución (MOTA, 2008). Para que esto sea plausible, "la elección concreta de las medidas cautelares adecuadas depende en gran medida de las *características del riesgo*" (en cuanto a la probabilidad, la frecuencia, la eminencia, la injusticia distributiva), así como de la *naturaleza del daño potencial* (si afectará al medio ambiente o también a las personas, poniendo en peligro la vida además de la salud, si afectará o no al funcionamiento de la economía, si cruzará las fronteras territoriales nacionales, si será irreversible o si se acumulará con riesgos preexistentes, si habrá la posibilidad de notificar a las víctimas). Así, en la evaluación de la gravedad de los riesgos no solo se deben tener en cuenta los indicadores objetivos de gravedad, sino también los indicadores de gravedad subjetivos (ARAGÃO, 2011-2012, p. 159-185), es decir, el riesgo debe ser analizado en todas sus facetas directas e indirectas.

El "Principio de Precaución se eleva generalmente a la categoría de instrumento para lograr el desarrollo sostenible, con la tarea de proteger a las generaciones actuales y futuras contra riesgos abstractos, globales, invisibles, transtemporales, diferidos e irreversibles" (ENGELMANN; HACHA; 2013). De esta manera, se pretende gestionar en cierta medida los riesgos desconocidos o inciertos, y para ello es necesario racionalizar los riesgos involucrados, de acuerdo con una evaluación de la probabilidad de ocurrencia asociada a su magnitud. Encontrando, en esta línea, argumentos y apoyos para decidir sobre la forma adecuada de evitar el daño ambiental. (BERWIG, 2014)

Giddens argumenta que la precaución debe ser visionaria de las hipótesis de ocurrencia de daños y que, por lo tanto, la precaución debe combinarse con el "Principio de *Porcentaje*". Ante esto, es necesario evaluar los riesgos y oportunidades en términos de la relación entre los costos a los que se está sujeto y los beneficios obtenidos (GIDDENS, 2010, p.85). Aragão entiende que la aplicación del Principio de *Precaución* también tiene tres momentos que deben ser guiados por la ponderación entre: las ventajas y desventajas, la evaluación de la aceptabilidad social y la elección de medidas cautelares adecuadas y proporcionales

(ARAGÃO, 2008, p.09-53).

En Alemania y Estados Unidos se aplica el análisis de riesgos en tres fases: *evaluación, gestión y comunicación*. La *evaluación* debe ser realizada, inicialmente, por el legislador -en la "identificación, en abstracto, de los riesgos vitales para la comunidad y en su graduación entre residuales, actuales y potenciales-, pero la Administración siempre tendrá una tarea importante de evaluación de los riesgos potenciales, en concreto". La *evaluación* debe tener en cuenta la fiabilidad de la información y la transparencia en su divulgación al público. En la *gestión de riesgos*, en su dimensión operativa es exclusivamente administrativa, pero el principio obliga al legislador a establecer, aunque sea de la manera más densa posible, la calificación jurídica para la injerencia y los supuestos esenciales. La *comunicación del riesgo* "opera a dos niveles: el destinatario de la autorización y el público en general, dentro del cual se pueden seleccionar las personas interesadas por su proximidad a la fuente del riesgo". Cualquiera de las partes tiene interés en explicar la decisión que genera la incertidumbre, no solo por razones de valoración de la razonabilidad del nivel de interferencia (i.e.: *quantum* de los deberes de protección) exigido por la Administración (el destinatario), sino también por el conocimiento del tipo y grado de riesgo al que están expuestos (público en general y partes interesadas en particular) (GOMES, 2013, p.199-200).

El Análisis de Riesgos y la Gestión de Riesgos, para Cezar y Abrantes, deben realizarse en tres fases: Primero, se define la *Percepción de Riesgo*; En segundo lugar, el *Análisis de Riesgos* propiamente dicho, que con base en el conocimiento técnico-científico especializado y la identificación previa de los efectos adversos a considerar, se realiza una cuantificación del riesgo por parte de Terceros, en posesión de información detallada sobre los riesgos (percepción, análisis y cuantificación) de la *Gestión de Riesgos*, que es la etapa final de la toma de decisiones, donde se eligen ciertas líneas de acción con base en los resultados que arroja el estudio de riesgos (CEZAR; ABRANTES, 2003). La *percepción de los riesgos* se analiza a la luz de criterios científicos de severidad y también de inaceptable social. Así, Aragão los clasifica en i) riesgos objetivos, que son aquellos riesgos que son científicamente altos, en la medida en que su gravedad es medible, es decir, su importancia es científicamente evaluable. En estas, aparentemente, hay una conciencia de los ciudadanos (contaminación del agua, por ejemplo); ii) los riesgos subjetivos, a pesar de ser considerados muy bajos o incluso irrelevantes por los especialistas, generan olas de alarma social (ARAGÃO, 2011-2012, p. 159-185).

En la *percepción del riesgo*, el principio de precaución podría asumir la siguiente función: verificado por el sentido común o por peritos aislados, la posibilidad de daños considerados graves o irreversibles, la precaución llevaría a la adopción inmediata de medidas

para prevenir la degradación ambiental esperada" (CEZAR; ABRANTES, 2003). Así, el principio de precaución implica una percepción inicial de riesgos en la que no hay certezas, ni siquiera las llamadas percepciones científicas.

Cuando se trata de nuevas tecnologías, inicialmente se sobreestiman los beneficios y se subestiman los riesgos. Debido a la especificidad requerida en la identificación de una nueva tecnología, y a la naturaleza abstracta de la anticipación de los riesgos, la incertidumbre asociada con la estimación de los beneficios puede ser menor inicialmente, mientras que la incertidumbre en torno al riesgo puede ser grande. Por lo tanto, en la medida en que la información adicional produce mejores estimaciones tanto en beneficio (riesgos como en beneficios), a medida que el sistema avanza en busca de información más perfecta, los riesgos y beneficios son indistinguibles dentro de los límites de la incertidumbre (WIESNER, 2011).

En esta etapa, "el primer problema es la miopía: las personas a menudo se centran en el corto plazo y descuidan el largo plazo, de una manera que puede dañar sus propios intereses". La razón es que el intento de defensa ignora el problema central, "las precauciones contra algunos riesgos casi siempre crean otros riesgos" (SUNSTEIN, 2005, p. 52-53). A menudo se trata de evitar riesgos conocidos, aunque no riesgos desconocidos, o sorpresas (ANTUNES, 2016, p. 34).

En otro ejemplo, Antunes explica claramente el equilibrio necesario en las decisiones cautelares frente a los riesgos:

Si, sobre la base del principio de precaución, adoptamos una actitud contra la energía nuclear, no podemos utilizarla contra los combustibles fósiles, ya que consideramos que la energía nuclear es un riesgo mayor. Por otro lado, si lo usamos contra los combustibles fósiles, porque tenemos un miedo fundado al calentamiento global, no podemos rebelarnos contra las hidroeléctricas (ANTUNES, 2016, p. 32).

De esta manera, Pérez sugiere la aplicación *del diagrama cualitativo de riesgos* como herramienta para proporcionar información útil para el análisis de riesgos y la aplicación precautoria. En este contexto, la visualización puede ayudar a los responsables de la toma de decisiones a clasificar los riesgos y a considerar las respuestas adecuadas. Puede apoyar a los responsables de la toma de decisiones en el razonamiento sobre el Principio de Precaución y su lugar dentro del universo más amplio de riesgos (PÉREZ, 2010).

Diagrama de Riesgo de Pérez adaptado y traducido al portugués

| Impactos       | Ações de Gestão de Risco                       |                                                |                                         |
|----------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Significativos | Gestão considerada necessária.                 | Os riscos devem ser gerenciados e monitorados. | Gestão extensiva essencial.             |
| Moderados      | Os riscos com monitoramento podem ser aceitos. | A gestão dos riscos merece esforço.            | A gestão dos riscos é uma exigência.    |
| Menores        | Riscos aceitos.                                | Riscos aceitos, mas devem ser monitorados.     | Riscos devem ser geridos e monitorados. |
|                | Baixa                                          | Média                                          | Alta                                    |
|                | Probabilidade                                  |                                                |                                         |

Fuente: Pérez (2010).

El diagrama presentado por Pérez hace un planteamiento teniendo como parámetros los impactos (menores, moderados y significativos) y las probabilidades (bajas, medias y altas), líneas rojas. A medida que aumentan los impactos y las probabilidades (desde el mínimo exterminado hasta el alto, la línea naranja) las acciones para la gestión del riesgo también se vuelven más extensas. Por ejemplo, un determinado producto tendrá su riesgo aceptado si tiene un menor impacto y una baja probabilidad de causar daños. Por otro lado, un producto con una baja probabilidad de daño, pero con un impacto significativo, tendrá acciones para la gestión de riesgos que se consideren necesarias. Por el contrario, si el producto tiene un impacto bajo y una alta probabilidad, los riesgos deben gestionarse y supervisarse.

Se asume, por lo tanto, que la relación entre el principio y el proceso total del Análisis de *Riesgos es compleja*, por lo que, en algunas situaciones, el principio reafirma la relevancia del conocimiento técnico-científico para la cuantificación del riesgo, mientras que en otras, los desacredita para salvaguardar percepciones basadas en el sentido común. En otras palabras, si el *Análisis de Riesgo* señalaba un alto riesgo de que un agente causara daños ambientales graves o irreversibles, se podría invocar el Principio de Precaución para evitar argumentos que buscaran postergar o evitar la adopción de medidas. En otra interpretación, si el *Análisis de Riesgos* presentaba una probabilidad de daño cercana a cero. Dada la incertidumbre inherente a la cuantificación del riesgo, se podría argumentar que el análisis de riesgo concluye que existe una "ausencia de certeza científica absoluta" de que un agente determinado no causará daño. El Principio de Precaución podría entonces aplicarse para evitar que este Análisis de Riesgos apunte a un riesgo cercano a cero y se utilice como razón para posponer, en la fase de Gestión

de Riesgos, medidas cautelares contra un daño ambiental inicialmente percibido (CEZAR; ABRANTES, 2003).

¿Cuál es el campo de decidibilidad en cuanto a la percepción de riesgo para la aplicación del principio de precaución?

En el ámbito de la política, en el que hay que tomar una decisión, sin que sea posible predecir sus efectos e implicando la responsabilidad institucional de los gobernantes, que no puede basarse ni en análisis de riesgo (defectuosos, porque no hay datos científicos fiables), ni en el sentido común, que en esta perspectiva siempre es erróneo. La acción política es siempre paradójica, porque implica una acción que es más amplia que la fuerza de la incertidumbre. Además, se requiere que la imposición de restricciones se lleve a cabo incluso antes de que exista una certeza científica absoluta sobre la amenaza real para el medio ambiente. Por lo tanto, la plausibilidad, basada en el conocimiento científico disponible en ese momento, es suficiente. Por lo tanto, el Principio de Precaución trae consigo un "requisito para el cálculo temprano de los peligros potenciales para la salud o la actividad de cada uno, cuando aún no ha surgido lo esencial" (MOTA, 2008).

## EL ESTADO DEL ARTE

Los programas de Tecnologías Convergentes corresponden perfectamente a las características que distinguen a la tecnociencia contemporánea de la ciencia moderna: la ciencia quiere saber cómo es el mundo: describirlo, interpretarlo, comprenderlo, explicarlo y, en el mejor de los casos, predecir *a priori* los acontecimientos que sucederán, así como explicar *a posteriori* los que ocurrieron. El objetivo principal de la tecnociencia, en cambio, es "transformar el mundo, ya sea natural, social o artificial". Además, para un científico, el conocimiento es un fin en sí mismo, mientras que para un tecnocientífico es un medio para alcanzar otros objetivos. El desarrollo acelerado de la tecnociencia está relacionado con los incentivos financieros, ya que estos apuntan a dar lugar a desarrollos tecnológicos e innovaciones a partir de la investigación, es decir, transformaciones y no solo la comprensión del mundo y su descripción (ECHEVERRÍA, 2009).

En estas circunstancias,

El Principio de Precaución proporciona una forma de legitimar actividades y procesos que de otro modo serían inaceptables. Incluso cuando el miedo del público a las nuevas tecnologías es irracional, los científicos y los responsables políticos no pueden ignorarlo. Al menos alguna versión del principio de precaución puede parecer ofrecer un compromiso entre la ciencia y la democracia, garantizando al público la seguridad

de una nueva tecnología y haciendo más difícil para los alarmistas bloquear una nueva tecnología (SUNSTEIN, 2005, p.54).

Por supuesto, nadie puede predecir de manera confiable lo impredecible, pero hay lecciones que se pueden aprender de los errores del pasado (STIRLING, 2010). Los resultados derivados de la incertidumbre científica generaron desconfianza en la ciencia tras las tragedias de la talidomida, la enfermedad de las vacas locas y Chernóbil (SUNSTEIN, 2005, p.54). En otras palabras, el desarrollo es un proceso gradual a través de la adición de nuevos elementos, de forma aislada o en combinación, esto no es diferente en el campo del conocimiento científico, en el que el acervo en constante crecimiento constituye el conocimiento científico y la técnica (KUHN, 2017, p.60).

- Puede haber incertidumbres en cuanto al origen del daño. Cuando hay un daño real y confirmado, pero se desconoce la causa, o cuando hay una causa hipotética para el daño, pero el vínculo causal entre ambos no está claro. Son las dudas sobre "cuál", y las que justifican la pregunta: "¿cuál es el riesgo?"
- Puede haber incertidumbre en cuanto a la naturaleza o gravedad del daño. Cuando no hay duda de que una determinada actividad va a causar un daño, pero no sabemos exactamente cuál ni qué tan grave. Son las dudas sobre el "qué" o el "cuánto" las que llevan a la pregunta: "¿riesgo de qué?"
- Puede haber incertidumbres en cuanto a la verificación real de los daños. Cuando aún no hay ni siquiera un daño confirmado, solo hay sospechas. Son las dudas sobre el "si" las que explican la pregunta: "¿existe siquiera un riesgo?" (ARAGÃO, 2011-2012, p. 159-185)

Los logros científicos son reconocidos durante algún tiempo por una comunidad científica específica, proporcionando las bases para la práctica posterior. Estos están abiertos para permitir el desarrollo posterior por parte de estos profesionales de la ciencia. Dichos logros se conciben como paradigmas, es decir, ejemplos aceptados en la práctica científica y que proporcionan modelos de los que brotan las tradiciones de investigación científica que se aplicarán posteriormente (KUHN, 2017, p. 71).

Para una mejor comprensión "El calor, la luz, la electricidad y el magnetismo adquirieron paradigmas y de repente toda una masa de fenómenos indiscriminados comenzaron a tener sentido". Esto coincidió con la Revolución Industrial, época que dio origen al mundo técnico-científico moderno compartido en la actualidad (HACKING, 2017, p.17).

Incluso en el siglo de la información, todavía existen numerosas incertidumbres científicas. Esto se justifica por el hecho de que la sociedad se enfrenta a sustancias o tecnologías muy recientes e innovadoras, cuyos impactos son aún poco conocidos (nanotecnologías u organismos genéticamente modificados, por ejemplo), pero que conllevan riesgos para las generaciones actuales y futuras. Además, muchas de las nuevas tecnologías se

han estudiado sólo en un contexto de laboratorio, y no en un contexto ambiental real; sólo en una escala de tiempo de años o décadas cuando deberían haber sido siglos o milenios; y solo en una escala geográfica restringida y no extendida (ARAGÃO, 2011-2012, p. 159-185).

Aragão explica la diferenciación entre incertidumbre ontológica, epistemológica y hermenéutica. La incertidumbre ontológica deriva de la naturaleza compleja de los sistemas (ecosistemas o sistemas climáticos), su escala (desde la escala nano hasta la escala planetaria, o interestelar, en el caso de las tormentas magnéticas solares), su carácter aleatorio (riesgos atómicos, para el comportamiento de los seres vivos o comunidades bióticas) o su carácter dinámico (los ecosistemas son sistemas abiertos y dinámicos, difícil de predecir, ya que evolucionan debido a numerosos factores). La incertidumbre epistemológica puede resultar de la inexistencia, insuficiencia o incompletitud de los datos, o de la existencia de datos contradictorios o incluso de la existencia de demasiados datos. La incertidumbre hermenéutica surge del hecho de que, ante la escasez o exceso de datos, se pueden generar diferentes interpretaciones de la realidad y, por lo tanto, diferentes visiones sobre el riesgo (ARAGÃO, 2011-2012, p. 159-185).

La predicción tecnológica puede expresarse mediante un "valor numérico o mediante restricciones tales como 'probable', 'improbable', 'muy probable', 'improbable' o 'casi seguro', de acuerdo con el grado y el tipo de conocimiento relevante disponible y efectivamente empleado en el pronóstico" (CEZAR; ABRANTES, 2003).

De esta manera, si bien las predicciones sobre los efectos de las tecnologías se refieren a eventos naturales o sociales, no se hacen exclusivamente con base en el conocimiento científico, también se hacen con base en el conocimiento sobre el funcionamiento y las fallas de las tecnologías. Más específicamente, los pronósticos tecnológicos pueden referirse a: (i) *Pronósticos Operativos*, que se refieren a las anticipaciones de las entradas y salidas que surgen del funcionamiento de mecanismos o sistemas de mecanismos; o el funcionamiento interno de esos mecanismos o sistemas de mecanismos; ii) *Predicciones sobre fallas*, que indicar las previsiones sobre el fallo que presentará el mecanismo o qué productos o subproductos se generarían o se verían comprometidos debido a fallos del mecanismo o de cualquiera de sus componentes; iii) *Previsiones de Efectos Sociales*, que son las previsiones de efectos económicos, sociales, políticos o culturales generados por los productos o insumos involucrados en el funcionamiento del mecanismo o en su posible fracaso o por los efectos ambientales o de salud derivados de ellos; iv) *Previsiones sobre Efectos Ambientales* que son las previsiones de los efectos sobre el medio ambiente generados por las salidas o insumos implicados en el funcionamiento del mecanismo o en su posible fallo o por los efectos sociales

o sanitarios que se deriven de ellos; v) *Predicciones sobre Efectos sobre la Salud Humana*, que son la anticipación de los efectos sobre la salud humana generados por los productos o insumos involucrados en el funcionamiento del mecanismo o en su posible falla o por los efectos sociales o ambientales que se derivan de ellos (CEZAR; ABRANTES, 2003).

El término "certeza" en el Principio de Precaución califica una predicción (de que habrá o no daño ambiental bajo ciertas condiciones). La formulación se lleva a cabo en un contexto científico: es una "certeza científica absoluta". Es una cuestión de certeza con respecto a una predicción científica. "Tener conocimiento" y "estar seguro" parecen ser saberes estrechamente asociados. Una de las estrategias del escéptico es que hay certeza para tener conocimiento. En consecuencia, si no es posible estar seguro; Por lo tanto, uno no tiene el conocimiento. Dos formas de hacer frente a este desafío escéptico serían:

Mostrar que la certeza no es una condición necesaria para tener conocimiento.  
Mostrar que podemos estar seguros al menos con respecto a un subconjunto de nuestras creencias y luego tratar de ampliar nuestra certeza a otras creencias.  
(CEZAR; ABRANTES, 2003).

Varios epistemólogos contemporáneos defienden la primera estrategia: la certeza sería un requisito adicional al conocimiento, es decir, es posible tener conocimiento aunque no se esté seguro. "La certeza sólo sería relevante para las afirmaciones de un sujeto del que tiene conocimiento. Pero el sujeto puede tener, de hecho, conocimiento incluso si no está seguro de su creencia y declara, erróneamente, que no tiene conocimiento". La segunda estrategia es adoptada por los fundacionalistas, para quienes la noción de "certeza" es central. Por lo tanto, designa la posición de que uno sólo se justifica en creencias y si están "respaldadas en bases sólidas", en alguna "base" indubitable. El "fundacionalista propone justificar (todas) nuestras creencias basándose en creencias 'básicas' que se toman como 'correctas', en el sentido de que son indubitables o infalibles" (CEZAR; ABRANTES, 2003). En otras palabras, "todo lo que se conoce y se admite como cierto o verdadero, tiene un fundamento último". (MORA, 1994, p. 1163).

En un contexto científico, el "derecho" puede generar diferentes interpretaciones:

Que la inferencia que conduce de las premisas a la conclusión es "cierta". Es decir, si ciertas proposiciones son admitidas como premisas, la proposición observacional (que constituye la predicción) se sigue necesariamente. Tenemos aquí una certeza de tipo lógico que no garantiza, por sí misma, el valor de verdad de la proposición observacional. Por lo general, entendemos algo más que una certeza meramente lógica cuando decimos que una predicción es "cierta", y esto nos lleva a la siguiente interpretación.  
Que la proposición observacional que constituye la predicción es verdadera (MORA, 1994, p. 1163).

En ambas interpretaciones, se puede admitir una menor "certeza" (o un mayor grado de incertidumbre), dependiendo de los siguientes factores:

1) Si la inferencia involucrada en la predicción no es deductiva sino inductiva, no tenemos ninguna certeza lógica de que la (verdad de) la conclusión se siga de las premisas. Inferimos la conclusión sólo con una cierta probabilidad, grado de "fuerza" o "certeza".

2) No estamos "absolutamente" seguros acerca de ninguna proposición, incluidas las presupuestas en una inferencia, ya sea observacional, nomológica o teórica. En este caso, incluso si la inferencia que vincula la conclusión a las premisas es deductiva, no podemos estar seguros con certeza de la (verdad de) la conclusión; es decir, no podemos estar seguros de la ocurrencia del hecho previsto (CEZAR; ABRANTES, 2003).

El factor (2) está muy presente. En una predicción científica, las premisas de las leyes y las condiciones iniciales están involucradas. Las leyes son "enunciados universales, es decir, espacio-temporalmente no restringidos, y las condiciones iniciales son enunciados singulares". Pero no es posible, en general, tener una certeza "absoluta" acerca de una proposición universal. No pueden ser probados, sino confirmados (probabilizados) o falsificados dada la evidencia empírica (CEZAR; ABRANTES, 2003).

Por lo tanto, el principio de precaución presupone una evaluación científica de todos los aspectos comprobables y verificables del riesgo antes de tomar medidas. Considerando que "las medidas cautelares son siempre provisionales", y que "deben ser revisadas periódicamente a la luz de la evolución de los conocimientos científicos y técnicos, también después de la adopción de las medidas, se vuelve a convocar a la ciencia, esta vez para justificar el mantenimiento, el refuerzo o la derogación de las medidas cautelares". En definitiva, medidas cautelares basadas en la ciencia y no contra la ciencia, incluyendo el mantenimiento basado en datos científicos (ARAGÃO, 2011-2012, p. 159-185). Así, "no existe una certeza científica absoluta, sino solo paradigmas, respuestas científicas provisionales que son decisivas en una época histórica precisa" (MOTA, 2008).

A su vez, el conocimiento relevante para este tipo de pronósticos puede estar constituido por:

- a) Descripciones de aspectos específicos del mecanismo que se esté examinando en ese momento, tales como el material y el método utilizados en su desarrollo.
- b) descripciones del entorno en el que se utilizará o desarrollará el mecanismo.
- c) Descripciones de las personas o grupo de personas responsables de su operacionalización.
- d) Leyes deterministas o estadísticas científicas.
- e) Leyes estadístico-técnicas.

f) Información sobre la "función" desempeñada por una determinada estructura, componente o persona (CEZAR; ABRANTES, 2003).

La incertidumbre científica radica en los riesgos de realizar actividades que utilicen recursos naturales, especialmente en lo que respecta a las nuevas tecnologías (nanotecnologías y biotecnologías). Por lo tanto, existe la necesidad de hacer un seguimiento de los riesgos, a través de la elucidación de los mecanismos que producen estos riesgos, así como una consideración amplia de los posibles riesgos para los ecosistemas complejos (WIESNER; BOTTERO, 2011).

## **MEDIDAS ECONÓMICAMENTE VIABLES**

Como se ha verificado, la aplicación empírica del Principio de Precaución incluye numerosas incertidumbres en cuanto a la valoración de los riesgos, así como incertidumbre científica, pero también es necesario considerar el valor económico de la medida a implementar para la gestión del riesgo de daño ambiental. Teniendo en cuenta que, si bien hay información, esto solo será posible a través de una cierta inversión, que además debe medirse ante los posibles riesgos y beneficios de la tecnología.

La Comunicación de la Comisión sobre el principio de cautela en relación con las medidas económicamente viables afirma lo siguiente:

Las medidas adoptadas presuponen el análisis de las ventajas y cargas derivadas de la acción o de la falta de acción. Este análisis debe incluir un análisis económico de costo/beneficio cuando sea apropiado y factible. Sin embargo, se pueden tener en cuenta otros métodos de análisis, como los que se refieren a la eficacia y el impacto socioeconómico de las posibles opciones. Además, los órganos decisorios también pueden guiarse por consideraciones no económicas (COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS).

Pero, ¿cómo se podrían cuantificar las medidas y cuáles son los límites sociales que conllevan? La precaución restituye la primacía de lo político en la consecución de las políticas públicas, pero ¿cuál es su delimitación? Es sabido que debe guiarse por el establecimiento de medidas razonables y medidas económicas proporcionales para preservar la degradación ambiental (MOTA, 2008).

Como es sabido, "no hay ninguna actividad humana que pueda considerarse libre de riesgos; lo que hace la humanidad, en todas sus actividades, es un análisis costo-beneficio entre el grado aceptable de riesgo y el beneficio que se derivará de la actividad" (ANTUNES, 2016. p. 38).

Sunstein critica el análisis de costo-beneficio para controlar las decisiones regulatorias, ya que este análisis no establece una regla por la cual se deben tomar decisiones. Los participantes pueden optar por seguir utilizando una determinada tecnología incluso cuando los costos superen los beneficios. Sin embargo, si lo hacen, debe ser después de recibir la información que ofrece el análisis costo-beneficio. Por otro lado, si los reguladores optan por imponer costos desproporcionadamente altos en comparación con los beneficios esperados, deben explicar por qué eligieron hacerlo (SUNSTEIN, 2005, p.130).

Por lo tanto, "el costo excesivo debe ser ponderado de acuerdo con la realidad económica de cada país, ya que la posibilidad ambiental es común a todos los países, pero diferenciada" (MACHADO, 2014, p. 106). En un resumen de las "dudas" de precaución, Aragão resume que:

La especial importancia de la prevención en el plan de protección del medio ambiente es perfectamente comprensible y corresponde al aforismo popular "más vale prevenir que curar". El sentido común dicta que, en lugar de dar cuenta del daño y tratar de repararlo, se debe tratar sobre todo de anticipar y evitar la ocurrencia de daños, por algunas razones muy evidentes que van desde la justicia ambiental hasta la simple racionalidad económica, pasando por la justicia intertemporal (ARAGÃO, 2011. P. 64).

En definitiva, se puede afirmar que "las medidas de protección deben ser proporcionales al nivel de protección que se busque", subrayando que actualmente vivimos en una sociedad del riesgo, en la que las necesidades del hombre nos obligan a recurrir, cada vez más, a los avances tecnológicos generados por los nuevos riesgos (MOTA, 2008).

## **DIRECTRICES PARA LA APLICACIÓN DEL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN**

Se sabe que la salud ambiental es análoga a la salud humana y, como tal, debe ser priorizada (DARK; BURGIN, 2017). Pero, para ello, es necesario trazar lineamientos para su aplicabilidad, alejándose de la vaguedad del Principio de Precaución. En vista de esto, su aplicación requiere un análisis cuidadoso de los siguientes supuestos: i) Riesgo; ii) Estado de la técnica; y (iii) Medidas económicamente viables.

En cuanto *al riesgo*, se encontró que es fundamental que pase por las fases de 1. *La Percepción del Riesgo* se basa en el conocimiento técnico-científico, pero la participación del sentido común también es decisiva en la decisión sobre qué efectos se consideran adversos. 2. *Análisis de Riesgo* con base en el conocimiento técnico-científico especializado y la identificación previa de los efectos adversos a considerar, se realiza una cuantificación del riesgo. 3. *Gestión de Riesgos*, etapa final de la toma de decisiones, donde se eligen determinadas

líneas de acción con base en los resultados proporcionados por el Análisis de Riesgos (CEZAR/ ABRANTES, 2003). Además, los problemas de calificación de riesgos se pueden entender aplicando *el diagrama de riesgos como herramienta* para proporcionar información útil. La visualización podría ayudar a decidir sobre la clasificación del riesgo y considerar las respuestas apropiadas (PÉREZ, 2010). Además, también se señaló la aplicación de la proporcionalidad como una comprensión importante del enfoque en los riesgos y la producción de decisiones equilibradas en escenarios de incertidumbre (GOMES, 2013, p. 203).

En cuanto al segundo elemento del Principio de Precaución, el *Estado de la Cuestión*, se encontró que en vista de la continua evolución y mutación de los conocimientos científicos no es posible aplicarles el factor tiempo, sino más bien al desarrollo del conocimiento técnico (COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS). Siguiendo así, incluyendo los lineamientos de la *Comunicación de la Comisión sobre el Principio de Precaución*, las medidas a tomar deben considerar su i) *Temporalidad*, ya que durará mientras haya incertidumbre, cambiando después de nuevos descubrimientos del conocimiento científico; ii) *Proporcionalidad*, que no requiere más que la adecuación entre los medios utilizados y el fin perseguido. En este sentido, el tercer elemento de precaución, el costo, debe ser ponderado de acuerdo a la realidad económica de cada país (MACHADO, 2014, p. 104). Y, en este sentido, realizar un análisis de las ventajas y cargas derivadas de la (in)acción (COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS).

En resumen, las medidas adoptadas con base en la precaución deben ser proporcionales, coherentes y precarias (ser revisadas periódicamente a la luz de los avances científicos y, cuando sea necesario, modificadas) (ARAGÃO, 2011, p. 63). Así, en una visión general del Principio Precautorio, se entiende que la delimitación legal de lo que es el "principio precautorio" se pone en entredicho por su naturaleza fluida y cambiante, lo que exige la configuración de un modelo de aplicación que, reúna los parámetros de certeza posible, decidibilidad, razonabilidad y proporcionalidad". Esta definición, por tanto, es esencial para servir de parámetro a la decisión de los tribunales (MOTA, 2008).

El objetivo de recurrir al Principio de Precaución que debe ser entendido y preservado es elevar el nivel de protección del medio ambiente, la salud pública, la seguridad pública y los derechos fundamentales, a un nivel más compatible con el grado de calidad requerido actualmente. No se trata de aspirar al riesgo cero (incluso en las actividades tradicionales y bien experimentadas hay un cierto grado de riesgo), sino de optar por un desarrollo responsable (ARAGÃO, 2011-2012, p. 159-185).

En este sentido, la *Comunicación de la Comisión sobre el Principio de Precaución* menciona que el Principio de Precaución incluye los principios generales de la gestión de riesgos: proporcionalidad, no discriminación, coherencia, análisis de las ventajas y cargas que pueden derivarse de la acción o de la falta de acción y análisis de los avances científicos (COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS).

En un informe sobre la legislación francesa "*Charte de l'Environnement*", aprobado por la Cámara de Diputados y el Senado, en Versalles de Francia, Machado menciona que el artículo 5 de esta se refiere al Principio de Precaución, con la siguiente redacción:

Cuando la ocurrencia de un daño, aunque sea incierto a la vista del estado de los conocimientos científicos, pueda afectar grave e irreversiblemente al medio ambiente, las autoridades públicas dispondrán, mediante la aplicación del principio de precaución y en los ámbitos de sus atribuciones, la implementación de procedimientos de evaluación de riesgos y la adopción de medidas provisionales y proporcionales para evitar la ocurrencia del daño (MACHADO, 2014, págs. 103-104).

*La Charte de l'Environnement* tiene los siguientes requisitos para su aplicación: a) el daño resultante de una acción u omisión es incierto frente al estado de los conocimientos científicos; b) existe la probabilidad de efectos graves e irreversibles sobre el medio ambiente; c) el Gobierno lo aplicará a sí mismo, a las empresas y a los ciudadanos; d) existen dos fases en la aplicación del principio de precaución: en la primera fase existe la obligatoriedad de procedimientos de evaluación de riesgos, y en la segunda fase se adoptan medidas para prevenir la ocurrencia del daño; e) la adopción de medidas públicas se somete a una metodología especial, con dos aspectos: la temporalidad y la proporcionalidad (MACHADO, 2014, p. 104). De este modo, las directrices de la legislación francesa siguen de manera similar a las que se encuentran en el entendimiento de los elementos del artículo 15 de la Declaración de Río, tal como se han fundamentado anteriormente. Para ello, se propone el siguiente cuadro sinóptico:

#### Resumen de las etapas de análisis para la aplicación empírica del Principio de Precaución.

**i) RIESGO > PROPORCIONALIDAD;**

1. *Percepción* del riesgo: conocimiento técnico-científico y participación del sentido común para decidir sobre los efectos aceptables.
2. *Análisis de riesgos* : conocimientos técnico-científicos para la identificación previa de efectos adversos y la cuantificación del riesgo a través del diagrama de *riesgos*;
3. *Gestión de riesgos* : toma de decisiones basada en la proporcionalidad, basada en los resultados proporcionados por el análisis de riesgos

**ii) Estado de la técnica - > PROVISIONALIDAD;**

1. *La temporalidad*, porque durará mientras haya incertidumbre, cambiando después de nuevos descubrimientos del conocimiento científico;
2. *La proporcionalidad*, que no exige más que la adecuación entre los medios utilizados y el fin perseguido.

**iii) Medidas económicamente viables - > COHERENTES.**

|                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Debe ponderarse de acuerdo con la realidad económica de cada país, acompañado de un análisis de las ventajas y cargas resultantes de la acción y la inacción. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Fuente: Elaboración propia.

Se concluye, por tanto, que la aplicación del Principio Cautelar requiere de una postura de distanciamiento del modo normativista, de un fuerte apego positivista a dar consecuencias a lo que es la materia misma del Derecho. En la aplicación de la precaución, se requiere flexibilidad (MOTA, 2008) para lograr su propio objetivo, evitar graves daños ambientales y humanos.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

En cuanto al riesgo, se encontró que es fundamental que pase por las fases de Percepción de Riesgo, Análisis de Riesgo y Gestión de Riesgos. Además, los problemas de calificación de riesgos se pueden entender aplicando el diagrama de riesgos como herramienta para proporcionar información útil. La visualización podría ayudar a decidir sobre la clasificación del riesgo y considerar las respuestas adecuadas. Además, también se señaló la aplicación de la proporcionalidad como una comprensión importante del enfoque en los riesgos y la producción de decisiones equilibradas en escenarios de incertidumbre.

El elemento del estado del arte es la situación del conocimiento científico humano sobre una tecnología dada. Este conocimiento no es inmutable, al contrario, evoluciona constantemente y, en la sociedad actual, con una velocidad sin precedentes. Por lo tanto, el conocimiento científico es ágil. Así, la "certeza" como propiedad de una observación de una teoría o de una predicción nunca es "absoluta", sino siempre relativa a un conocimiento de fondo, o pasado, siendo provisionalmente aceptada y siempre sometida a crítica. Por lo tanto, cuando se habla del estado del arte, hay que referirse al concepto de provisionalidad. Por lo tanto, cualquier decisión en materia de riesgo tendrá en cuenta el estado de la técnica y esto está vinculado a los movimientos de provisionalidad, proporcionalidad y seguimiento.

Así, la ausencia de certeza científica forma parte de casi todas las acciones humanas. Para ello, sigue las directrices de la Comunicación de la Comisión sobre el Principio de Precaución: las medidas a tomar deben tener en cuenta su i) Temporalidad, ya que durará mientras haya incertidumbre, cambiando tras nuevos descubrimientos del conocimiento científico; ii) La proporcionalidad, que no exige más que la adecuación entre los medios utilizados y el fin perseguido.

El tercer elemento son las medidas económicamente viables, una ponderación y proporcionalidad entre las ventajas de la actividad y los costes de la acción/inacción en relación con los riesgos de daño ambiental que se materializan. De esta manera, se cerró la comprensión de la definición del Principio de Precaución.

Para ello, se confirmó la hipótesis del problema inicial de investigación, pues a partir de la división del Principio en elementos a partir del concepto de Río 92 fue posible trazar lineamientos para su aplicación empírica, los cuales fueron recogidos en el cuadro resumen presentado.

## REFERENCIAS

ADAMS, Juan. **Riesgo**. Traducción de Lenita Rimoli Esteves. São Paulo: Senac, 2009.

ANTUNES, Paulo de Bessa. **Derecho Ambiental**. 18. Ed. Rev. Ampl. y actual. São Paulo: Atlas, 2016.

ARAGÃO, Alexandra. Aplicación nacional del principio de cautela. *En*: COLEGIO DE MAGISTRADOS DE LA JURISDICCIÓN ADMINISTRATIVA Y FISCAL DE PORTUGAL. **Coloquios 2011-2012**. Lisboa: AMJAFP, 2013. págs. 159-185. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10316/24581>. Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

ARAGÃO, Alexandra. Derecho constitucional en materia de medio ambiente de la Unión Europea. *En*: CANITOLHO, José Joaquim Gomes; LEITE, José Rubens Morato. **Derecho constitucional ambiental brasileño**. São Paulo: Saraiva, 2011. págs. 57-130.

ARAGÃO, Alexandra. Principio de precaución: manual de instrucciones. **Revista del Centro de Estudios de Planificación, Urbanismo y Derecho Ambiental**, Coimbra, año XI, n. 2, p. 9-57, 2008.

BEN, Gustavo Vinícius; ENGELMANN, Wilson. El derecho frente a las nanotecnologías: la pluralidad de fuentes jurídicas entre la aplicación de los principios de prevención y precaución y la sociedad del riesgo. **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo, n. 102, p. 75-100, abril/junio de 2021.

BERWIG, Juliane Altmann. Cambio climático: energía y precaución. **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo, v. 73, p. 393-415, ene./mar. Año 2014.

BRASIL. [Constitución (1988)]. **Constitución de la República Federativa del Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidencia de la República, [2021]. Disponible en: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicaocompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm). Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

BRASIL. **Decreto N° 2.519 de 16 de marzo de 1998**. Promulga el Convenio sobre la Diversidad Biológica, firmado en Río de Janeiro, el 5 de junio de 1992. Brasília, DF: Presidencia de la República, 1998. Disponible en:

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1998/anexos/and2519-98.pdf](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1998/anexos/and2519-98.pdf). Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

BRASIL. **Decreto N° 2.652 de 1° de julio de 1998**. Promulga la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, firmada en Nueva York, el 9 de mayo de 1992. Brasília, DF: Presidencia de la República, [2021]. Disponible en: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/d2652.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2652.htm). Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

BRASIL. **Ley N° 12.187, de 29 de diciembre de 2009**. Establece la Política Nacional de Cambio Climático – PNMCC. Brasília, DF: Presidencia de la República, [2021]. Disponible en: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/12187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/12187.htm). Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

BRASIL. **Ley N° 11.105, de 24 de marzo de 2005**. Regula los puntos II, IV y V del § 1 del artículo 225 de la Constitución Federal, establece normas de seguridad y mecanismos de inspección para las actividades que involucran organismos genéticamente modificados – OGM y sus derivados, crea el Consejo Nacional de Bioseguridad – CNBS, reestructura la Comisión Técnica Nacional de Bioseguridad – CTNBio, establece la Política Nacional de Bioseguridad – PNB, deroga la Ley N° 8.974, de 5 de enero de 1995, y la Medida Provisional N° 2.191-9, de 23 de agosto de 2001, y los arts. 5°, 6°, 7°, 8°, 9°, 10° y 16° de la Ley N° 10.814, de 15 de diciembre de 2003, y dicta otras disposiciones. Brasília, DF: Presidencia de la República, [2021]. Disponible en: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/lei/111105.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111105.htm). Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

BRASIL. **Ley N° 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Establece la Política Nacional de Residuos Sólidos; modifica la Ley N° 9.605, de 12 de febrero de 1998; y dispone otras disposiciones. Brasília, DF: Presidencia de la República, [2021]. Disponible en: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm). Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

BRASIL. **Ley N° 9.605, de 12 de febrero de 1998**. Establece sanciones penales y administrativas derivadas de conductas y actividades nocivas para el medio ambiente, y dispone otras disposiciones. Brasília, DF: Presidencia de la República, [2021]. Disponible en: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9605.htm). Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

CEZAR, Frederico Gonçalves; ABRANTES, Paulo César Coelho. Principio de precaución: consideraciones epistemológicas sobre el principio y su relación con el proceso de análisis de riesgos. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 225-262, maio/ago. Año 2003.

COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. **Comunicación de la Comisión sobre el principio de cautela**. Bruselas: UE, 2000. Disponible en: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/21676661-a79f-4153-b984-aeb28f07c80a/language-en>. Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y EL DESARROLLO. **Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo**. Río de Janeiro: ONU, 1992. Disponible en: [https://www5.pucsp.br/ecopolitica/projetos\\_fluxos/doc\\_principais\\_ecopolitica/Declaracao\\_rio\\_1992.pdf](https://www5.pucsp.br/ecopolitica/projetos_fluxos/doc_principais_ecopolitica/Declaracao_rio_1992.pdf). Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

OSCURO, Stephen Michael; BURGÍN, Shelley. Un examen de la eficacia del principio de precaución como un sólido protocolo de planificación y gestión ambiental. **Revista de Planificación y Gestión Ambiental**, [s. l.], v. 60, p. 62-83, 2017. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/09640568.2016.1276436>. Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

DEUTSCHLAND. Bundesministerium Der Justiz Und Für Verbraucherschutz. **Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge** (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG), 15 de marzo de 1974. [s. l.: s. . . n], 1974. Disponible en: <https://www.gesetze-im-internet.de/bimsg/BImSchG.pdf>. Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

ECHEVERRÍA, Javier. Interdisciplinariedad y convergencia tecnocientífica nano-bio-info-cogno. **Sociologias**, Porto Alegre, año 11, n. 22, p. 22-53, jul./dez. 2009. Disponible en: <https://seer.ufrgs.br/sociologias/article/view/9638/5510>. Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

ENGELMANN, Wilson; MACHADO, Viviane Saraiva. Del principio de precaución al principio de precaución: construyendo las bases para una nanotecnología respetuosa con el medio ambiente. **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo, v. 69, p. 13-50, ene./mar. Año 2013.

FARBER, Daniel. Hacer frente a la incertidumbre: análisis costo-beneficio, principio de precaución y cambio climático. **Washington Law Review**, Seattle, v. 90, p. 1660-1774, junio de 2015. Disponible en: <http://ssrn.com/abstract=2637105>. Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

GIDDENS, Antonio. **La política del cambio climático**. Río de Janeiro: Zahar, 2010.

GOMES, Carla Amado. La era de la incertidumbre: reflexiones sobre los retos de la gestión de riesgos ambientales. En: LÓPEZ, Tereza Ancona; LEMOS, Patrícia Faga Inglesias; RODRIGUES JUNIOR; Otávio Luiz (ed.). **Derecho, sociedad y derecho privado: retos normativos, consumistas y medioambientales**. São Paulo: Atlas, 2013. págs. 167-197.

HACKING, Ian. Ensayo introductorio. En: KUHN, Thomas. **La estructura de las revoluciones científicas**. 13. ed. São Paulo: Perspectiva, 2017. págs. 9-48.

KUHN, Thomas. **La estructura de las revoluciones científicas**. 13. ed. São Paulo: Perspectiva, 2017.

LEITE, José Rubens Morato Leite; AYALA, Patryck de Araújo. **Daño ambiental: de lo individual a lo colectivo fuera de balance**. 4. Ed. Rev. Ampl. y actual. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2011.

LUHMANN, Niklas. **El concepto de riesgo**. Ciudad de México: Universidad Iberoamericana: Herder Editorial, 2005.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. Art. 225, §1, V. En: CANOTILHO, José Joaquim Gomes; SARLET, Ingo Wolfgang; STRECK, Lenio Luiz; MENDES, Gilmar Ferreira (ed.). **Comentarios a la Constitución de Brasil**. São Paulo: Saraiva, 2018. p.2183.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Derecho ambiental brasileño**. 22. Ed. Rev. Ampl e Atual. São Paulo: Malheiros, 2014.

MINASSA, Pedro Sampaio. La incógnita ambiental del principio de precaución. **Revista Derecho y Sociedad Ambiental**, Caxias do Sul, v. 8, n. 1, p. 158-159, 2018.

MORA, José Ferrater; TERRICABRAS, José María. **Diccionario de filosofía**. São Paulo: Loyola, 1994. t. 2. Disponible en: [https://books.google.com.br/books?id=arWu04Gg\\_uAC&dq=diccionario+de+filosofia+fundacionista&hl=pt-BR&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.br/books?id=arWu04Gg_uAC&dq=diccionario+de+filosofia+fundacionista&hl=pt-BR&source=gbs_navlinks_s). Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

MOTA, Maurício. El Principio de Precaución en el Derecho Ambiental: una construcción basada en la razonabilidad y la proporcionalidad. **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo, v. 50, p. 180-211, abril/junio de 2008.

PÉREZ, Orén. La gobernanza precautoria y los límites del conocimiento científico: un marco democrático para regular la nanotecnología. **Revista de Derecho y Política Ambiental de la UCLA**, [s. l.] De próxima publicación, p. 1-46, abril de 2010. Disponible en: <https://ssrn.com/abstract=1585222>. Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

STIRLING, Andy. A. Mantener la complejidad. **Naturaleza**, [s. l.], v. 468, p. 1029-1031, dic. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1038/4681029a>. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/4681029a>. Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.

SUNSTEIN, Cass R. **Leyes del miedo: más allá del principio de precaución**. Nueva York: Cambridge, 2005.

WIESNER, Mark R.; BOTTERO, Jean-Yves. Un proceso de predicción de riesgos para materiales nanoestructurados y nanofabricación. **Comptes Rendus Physique**, [s. l.], v. 12, n. 7, p. 659-668, sept. 2011. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631070511001605?via%3Dihub>. Fecha de acceso: 27 jul. Año 2021.