

CAPÍTULO 4

**EL PAPEL DEL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN
EN LA MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS
DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE
LA BIODIVERSIDAD**

Nicolas DE SADELEER
Chaire Jean Monnet
Professeur Ordinaire à l'Université Saint-Louis*

SUMARIO: I. INTRODUCCIÓN.—II. FALSO NEGATIVO FRENTE A FALSO POSITIVO: EL AUGE DEL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN EN EL DERECHO CLIMÁTICO INTERNACIONAL.—III. EFECTOS ADVERSOS A GRAN ESCALA DEL CAMBIO CLIMÁTICO.—IV. ESPECIFICIDAD DE LOS RIESGOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.—V. INCERTIDUMBRES PERSISTENTES.—VI. CONFIGURAR LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN.—VII. LA MEJORA DE LA PROTECCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS PARA MITIGAR EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO.—VIII. OBSERVACIONES FINALES.

I. INTRODUCCIÓN

El ser humano, al igual que otros organismos vivos, siempre ha influido en su entorno. Sin embargo, desde el inicio de la revolución industrial, el aumento de las actividades humanas ha tenido un impacto más profundo en la litosfera y la pedosfera, la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera y la biosfera que en todos los periodos anteriores juntos. Estos son los principales componentes del sistema climático, cuyas complejas interacciones

* El autor desea agradecer al Sr. José Manuel Escudero Pérez su traducción del artículo.

han producido un equilibrio bastante estable en torno al cual evoluciona el clima¹.

La magnitud de estas actividades está afectando a la faz de la Tierra de una manera sin precedentes. Desde el inicio de la agricultura, hace unos 11.000 años, el 70 por 100 de la superficie terrestre de la Tierra ha sido alterada por las actividades humanas². La *Global-human made mass* se ha ido duplicando aproximadamente cada veinte años hasta llegar a superar la biomasa viva global, situación actual³. La extracción anual mundial de materiales se triplicó entre 1970 y 2017 y sigue creciendo⁴, lo que plantea un gran riesgo a nivel mundial.

De hecho, es la primera vez en la historia de la humanidad que hemos alterado los ecosistemas con tal intensidad, a tal escala y con tal velocidad. No es de extrañar que la Tierra se encuentre en un punto de no retorno.

Durante más de un siglo, las sociedades industriales consideraron la naturaleza tanto como una reserva de recursos como el vertedero de los desechos producidos por la explotación de los mismos. La sobreexplotación de los recursos naturales, así como la contaminación del medio ambiente, fueron menospreciadas. De hecho, como los contaminantes eran arrastrados por el viento y el agua, la solución a la contaminación no era otra que la dilución. Además, se desconocían los problemas del cambio climático. A finales de los años sesenta, los poderes públicos del mundo occidental trataron de frenar las amenazas que suponían las crecientes presiones medioambientales. Sin embargo, se quedaron cortos a la hora de respaldar un enfoque normativo monolítico.

Desde el inicio de la política medioambiental a finales de los años sesenta en el mundo occidental, las medidas políticas destinadas a contrarrestar los daños medioambientales han sufrido una sucesión de modificaciones radicales⁵. Una primera fase adoptó la forma de medidas correctoras, lo que se traduce en una intervención *a posteriori* de los poderes públicos. En esta fase el daño ya se ha producido, por lo que ya no queda más que reparar el daño ambiental. Este enfoque tardío no evita, por tanto, que se produzcan daños medioambientales. Pronto se vio que este modelo solo era viable si se apoyaba en una política preventiva. Por ello, la política medioambiental evolucionó para incluir una dimensión preventiva, mediante la cual las autoridades públicas intervinieran antes de que se produzcan los daños que probablemente tendrían lugar si no se hiciera nada para evitarlos. Esta se-

¹ LEMKE, P., «Dimensions and mechanisms of global climate change», en WINTER, G. (ed.), *Multilevel Governance of Global Environmental Change*, Cambridge, CUP, 2006, p. 37.

² BRADSHAW, C. J. A. et al., *Underestimating the Challenges of Avoiding a Ghastly Future*, 13 de enero de 2021, Frontier.

³ ELHACHAM et al., *Global-human made mass exceeds all living biomass*, Nature, 2020.

⁴ GLOBAL RESOURCE OUTLOOK, *Natural Resources for the Future We Want (Recursos naturales para el futuro que queremos)*, Panel Internacional de Recursos, 2019.

⁵ DE SADELEER, N., *Environmental Principles*, 2.^a ed., Oxford, OUP, 2020, pp. 23-29.

gunda etapa está marcada por una fe ciega en la ciencia. De acuerdo con un enfoque «asimilador» (*assimilative approach*)⁶, no es absolutamente necesario eliminar los vertidos de sustancias contaminantes, ya que las normas de emisión pueden dar fácilmente una respuesta adecuada a cualquier tipo de contaminación fijando el nivel exacto de un contaminante que un ecosistema puede asimilar. Se supone que mientras las emisiones no superen un determinado umbral crítico, los entornos receptores pueden absorberlas y dispersarlas. El deterioro ecológico solo se produce cuando la capacidad de asimilación de los ecosistemas se satura como consecuencia de concentraciones demasiado elevadas o acumulaciones demasiado rápidas de sustancias contaminantes⁷.

A principios de los años noventa, la letanía de amenazas medioambientales se volvió alarmante: destrucción de la capa de ozono estratosférica, cambio climático, acidificación de los ecosistemas, pérdida total de la diversidad biológica, sobreexplotación de los recursos marinos, aumento de los riesgos tecnológicos, etc. La aparición de un conjunto de riesgos cada vez más imprevisibles llevó a las autoridades a basar su política en un modelo de anticipación. Este modelo puede vincularse a la comprensión de las limitaciones de los conocimientos científicos. Mientras que la prevención se basa en el concepto de riesgo cierto, el modelo anticipatorio se distingue por la intrusión de la incertidumbre. Metamorfoseada en un factor de revelación de la incertidumbre, la ciencia suscita controversias tan a menudo como ofrece un conocimiento sólido. Todo el fundamento del enfoque «asimilador», que se apoya en una confianza ciega en la ciencia, se desmorona así bajo la presión de la incertidumbre. En pocas palabras, las diferencias entre la prevención y la precaución estriban en cómo los expertos conocen las causas del fenómeno y cuál es la responsabilidad de aquellos que toman las decisiones a la luz de ese conocimiento⁸.

En este contexto, resultaba cada vez más difícil explicar las tendencias del calentamiento global. Los expertos no tardaron en opinar que la mitigación debía prevalecer sobre el enfoque curativo. Sin embargo, esta afirmación no resuelve la cuestión de cómo las medidas de mitigación deben tener en cuenta las incertidumbres. El Derecho climático no ignora la precaución. El principio de precaución se invocó con regularidad en la década de los noventa en relación con las cuestiones del cambio climático, aunque los países anglosajones prefirieron el término «enfoque de precaución» en lugar de «principio de precaución». En 1992, el derecho de los Estados a

⁶ La capacidad de asimilación de un componente del medio ambiente puede definirse como la cantidad de material que podría absorber dicho componente sin producir impactos biológicos inaceptables. Véase GOLDBERG, E. D., *Assimilative Capacity of US Coastal Waters for Pollutants Proceedings of a Workshop at Crystal Mountain, WA*, NOAA Working Paper No. 1, Washington, DC, US Department of Commerce, 1979.

⁷ DE SADELEER, N., *Environmental Principles*, 2.^a ed., Oxford, OUP, 2020, pp. 121 y 125-127.

⁸ *Ibid.*, pp. 165-167, 170-175, 243-244 y 253.

adoptar medidas de precaución quedó consagrado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). En aquel momento, el reconocimiento de la precaución en un gran acuerdo internacional supuso un gran avance.

Este artículo pretende analizar las implicaciones del principio de precaución en las medidas de mitigación. Tras destacar las características específicas de los riesgos del cambio climático y poner de relieve las incertidumbres que persisten (secciones III a V), explorará cómo el proceso de toma de decisiones podría integrar mejor las incertidumbres. En el transcurso de nuestro análisis destacaremos las incertidumbres para el futuro de los ecosistemas debido al aumento de las temperaturas y de los mares. También destacaremos cómo una mejor gestión de los ecosistemas podría mitigar los efectos adversos del cambio climático. Concluye esbozando cómo la limitación de los impactos más graves del calentamiento global requerirá la integración de las incertidumbres en el proceso de toma de decisiones.

II. FALSO NEGATIVO FRENTE A FALSO POSITIVO: EL AUGE DEL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN EN EL DERECHO CLIMÁTICO INTERNACIONAL

La incertidumbre afecta tanto a la probabilidad de un suceso como a cuándo —y en qué medida— producirá daños. En un contexto de conocimiento incompleto sobre la velocidad y los impactos del cambio climático, imperante en la década de los ochenta, la comunidad internacional se enfrentó al siguiente dilema. ¿Deben los poderes públicos optar por un enfoque normativo retardado con el fin de reducir el margen de incertidumbre? ¿Deben dar crédito a los climatólogos que predicen catástrofes naturales? ¿O deben, en cambio, respaldar un enfoque preventivo inmediato para contrarrestar las amenazas que simplemente se sospechan?

Al evitar las medidas precipitadas y apresuradas, el enfoque de esperar y ver o de seguir como hasta ahora parece favorecer una asignación más eficiente de los recursos económicos que un enfoque preventivo que sacrificaría el bienestar económico en aras de evitar un acontecimiento que no es probable que se produzca (errores falsos positivos) ⁹.

En efecto, la acumulación de conocimientos científicos resultante de este retraso ofrece a los responsables cierta esperanza de contar a largo plazo con tecnologías más avanzadas y más baratas. Sin embargo, las incertidumbres inherentes a la investigación científica podrían retrasar la adopción de medidas esenciales para evitar daños irreversibles, a falta de pruebas irre-

⁹ Muchos críticos sostenían en 1992 que una interpretación demasiado audaz del principio de precaución genera errores falsos positivos que conducen a un exceso de regulación a expensas de consideraciones de bienestar.

futables. De ello se desprende que los partidarios de un enfoque retardado pueden llegar a concluir que no hay impacto cuando en realidad sí lo hay (errores falsos negativos).

El siguiente cuadro muestra las distinciones entre estas dos escuelas de pensamiento.

Enfoques	<i>Business-as-usual Enfoque</i> «como de costumbre/como hasta ahora/mantenimiento del <i>statu quo</i> ».	<i>Enfoque anticipativo.</i>
Ventajas y desventajas	Un enfoque preventivo sacrificaría el bienestar económico.	Un enfoque preventivo evitaría la aparición de daños irreversibles.
Inversión en investigación	Debería reducir el riesgo asociado a medidas prematuras y costosas.	Debe reducir el nivel de incertidumbre para fomentar estrategias óptimas.
Paradigma	Paradigma científico sólido (<i>Sound science</i>): Retrasar la acción hasta que los expertos puedan aportar pruebas sólidas.	Paradigma de precaución: Mitigar los impactos con independencia de la plena certeza científica.
Acciones	« <i>Learn and then act</i> » Primero aprender y después actuar.	« <i>Better safe than sorry</i> » Mejor prevenir que curar.
Errores	Errores falsos negativos.	Errores falsos positivos.

Sin embargo, a finales del siglo pasado, varios Estados comenzaron a impulsar la adopción de una estrategia de precaución, limitando las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en respuesta a la amenaza que suponen para la estabilidad del clima. En su opinión, lo que está en juego es simplemente demasiado importante para retrasar la adopción de decisiones internacionales clave. Si no se actúa con rapidez, se producirían errores falsos negativos. Puede que sea menos costoso repartir los costes de evitar el cambio climático iniciando los esfuerzos de mitigación desde el principio, en lugar de esperar varias décadas y tomar medidas cuando el problema ya haya avanzado demasiado¹⁰.

Esto condujo a la adopción de la CMNUCC en 1992. Todos los acuerdos internacionales posteriores —el Protocolo de Kioto de 1997 y el Acuerdo de París de 2015— no han surgido sino de la Convención marco. Mientras que la CMNUCC define las condiciones en las que pueden apli-

¹⁰ IPCC, *Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Parte A: Aspectos mundiales y sectoriales*, Contribución del Grupo de trabajo II.1.2.4 The Role of Uncertainty, 2014.

carse las medidas de precaución, esta última no se refiere en absoluto a la precaución¹¹.

Aunque el Protocolo de Kioto de 1997 no menciona el principio de precaución, la acción precautoria se reforzó, no obstante, en un momento en el que los conocimientos científicos seguían dando lugar a opiniones contradictorias. El hecho de que, gracias a los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), se haya alcanzado un consenso mundial sobre la causa antropogénica del cambio climático explica quizá la ausencia de toda referencia a la precaución. Por último, el Acuerdo de París no menciona en absoluto la precaución. El siguiente cuadro pone de manifiesto la forma en que las incertidumbres sobre el origen antropogénico del cambio climático han impregnado estos diferentes acuerdos. En este contexto, fue más fácil alcanzar un acuerdo global en París en 2015 que en 2009 en Copenhague. Por otra parte, se podría argumentar igualmente que el principio estaba integrado en la CMNUCC, una Convención Marco; *ergo* no era necesario establecerlo en otros acuerdos. La siguiente tabla muestra estos desarrollos:

Acuerdos medioambientales multilaterales	CMNUCC de 1992	Protocolo de Kioto de 1997	Acuerdo de París de 2015
Nivel de incertidumbre	Alto	Medio/Moderado	Mayor confianza

Ni que decir tiene que la proclamación del principio de precaución en la CMNUCC ha sido un tema de gran importancia. El art. 3(3) de la Convención establece la siguiente obligación:

«Las Partes deberían tomar medidas de precaución para prever, prevenir o reducir al mínimo las causas del cambio climático y mitigar sus efectos adversos. Cuando haya amenaza grave o irreversible, no debería utilizarse la falta de total certidumbre científica como razón para posponer tales medidas, tomando en cuenta que las políticas y medidas para hacer frente al cambio climático deberían ser eficaces en función de los costos a fin de asegurar beneficios mundiales al menor costo posible».

Además, el Preámbulo subraya «que hay muchos elementos de incertidumbre en las predicciones del cambio climático, particularmente en lo que respecta a su distribución cronológica, su magnitud y sus características regionales».

En la CMNUCC, la precaución no se acuña ni como principio ni como enfoque¹². Para evitar ese debate, el apartado 3 del art. 3 concede a las Partes el derecho a adoptar medidas de precaución, pero no las obliga a hacerlo.

¹¹ DE SADELEER, N., *Environmental Principles*, 2.^a ed., Oxford, OUP, 2020, pp. 265-266.

¹² Surge aquí la duda de qué término es el más apropiado. En inglés se distingue entre «*principle*» (principio) y «*approach*» (enfoque). Véase DE SADELEER, N., *Environmental Principles*, 2.^a ed., Oxford, OUP, 2020, pp. 448-494.

En otras palabras, no encierra una obligación de actuar sino un derecho a tomar medidas preventivas. Además, es probable que la adopción de medidas de precaución en el marco de la CMNUCC esté limitada por una serie de umbrales, como la irreversibilidad y la gravedad de los daños, así como la rentabilidad de las medidas. En efecto, las medidas de precaución deben

«ser eficaces en función de los costos a fin de asegurar beneficios mundiales al menor costo posible».

Dado que muchos daños no se traducen fácilmente en términos monetarios, los beneficios de las políticas sobre el cambio climático son difíciles de estimar con precisión.

Hasta ahora, es difícil evaluar si las autoridades estatales se han aprovechado de esa disposición para adoptar medidas de precaución.

III. EFECTOS ADVERSOS A GRAN ESCALA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Antes de la *revolución* industrial¹³, la cantidad de GEI en la atmósfera se mantuvo relativamente constante. Aunque el clima se ha mantenido relativamente estable durante los últimos 8.000 años, desde la última era glacial, ahora está cambiando rápidamente, puesto que las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) y diversos GEI sintéticos fabricados han aumentado considerablemente. Las causas son múltiples. La energía barata ha sido un motor clave del rapidísimo crecimiento económico y demográfico. Tanto la industria como la vivienda han recurrido en gran medida al carbón y, posteriormente, a la combustión de carburantes. A partir de los años sesenta, el tráfico rodado se convirtió en una fuente importante de emisiones de GEI. Además, la industrialización de la agricultura y el vertido de residuos han contribuido a duplicar la concentración de metano en la atmósfera desde la época preindustrial. Asimismo, los cambios en el uso del suelo debidos a la deforestación masiva en todo el mundo y la expansión de la agricultura han contribuido a la amplificación del fenómeno¹⁴. La expansión agrícola causa cerca del 90 por 100 de la deforestación mundial: más de la mitad de las pérdidas de bosque se debe a su conversión en tierras de cultivo, mientras que casi el 40 por 100 de esas pérdidas corresponde al pastoreo¹⁵.

¹³ El art. 2, párrafo 1.º, del Acuerdo de París de 2015, insta a las Partes a mantener «el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C». Sin embargo, esos niveles preindustriales no quedan definidos.

¹⁴ Propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a la comercialización en el mercado de la Unión y a la exportación desde la Unión de determinadas materias primas y productos derivados asociados a la deforestación y la degradación forestal y por el que se deroga el Reglamento (UE) núm. 995/2010 [COM (2021) 706].

¹⁵ Preámbulo de la Propuesta de Reglamento, para. 13.

Aunque los expertos llevan advirtiendo desde 1979 que una duplicación de la concentración de CO₂ provocará un calentamiento medio de entre 1,5 y 4,5 °C, poco se ha hecho para invertir la tendencia. Los cambios de temperatura se están produciendo muy rápidamente. Mientras que en 2020 la temperatura media solo ha aumentado alrededor de 1 °C por encima de los niveles preindustriales, la situación se ha vuelto ya crítica en las regiones más expuestas a los riesgos de sequía, olas de calor e inundaciones. El aumento de la temperatura ya está provocando cambios sin precedentes con consecuencias catastróficas para el sistema terrestre. Igualmente, el aumento de las temperaturas no representa el único problema; los océanos también se están acidificando a un ritmo alarmante. Mientras que algunos animales parecen adaptarse a las condiciones cambiantes, la gran mayoría de las especies son incapaces de hacer frente al aumento de las temperaturas, al cambio de los patrones de precipitación y a un clima cada vez menos predecible y más extremo. Dada la necesidad de establecerse en áreas de distribución más frías, algunas especies podrían no ser capaces de migrar (por encontrarse con obstáculos físicos o por la falta de hábitats adecuados), mientras que otras que no tienen la capacidad de migrar o que tienen un área de distribución demasiado estrecha se verán condenadas a la desaparición¹⁶. En casi todos los casos, la nueva información da lugar a previsiones más pesimistas.

En resumen, los múltiples impactos del cambio climático comprenden, entre otros, los siguientes:

- La disminución de las zonas cubiertas de nieve.
- El derretimiento y disminución de los glaciares.
- El retroceso de la capa de hielo en el Ártico.
- El calentamiento de los océanos (que sirve de enorme bomba de energía) y su acidificación.
- La subida del nivel del mar.
- El blanqueamiento de los arrecifes de coral.
- El aumento de fenómenos meteorológicos extremos como olas de calor e incendios.
- El aumento de las precipitaciones en el hemisferio norte y disminución en los subtrópicos.
- El desplazamiento del área de distribución de las especies silvestres por el aumento de las temperaturas.
- La extinción de especies¹⁷.

Estos impactos ocultan también otras sorpresas aún más preocupantes. La producción primaria, la estabilidad de los servicios ecosistémicos y la disponibilidad de recursos se ven afectados por este fenómeno.

¹⁶ CALDWELL, M. R., y LOUGHNEY MELIUS, M., «Coastal issues», en FARBER, D. A., y PEETERS, M., *Climate Change Law, Elgar Encyclopedia of Environmental Law*, E. Elgar, 2016, p. 581.

¹⁷ IPCC, *ARC 5 Resumen para responsables de políticas*, 2014.

IV. ESPECIFICIDAD DE LOS RIESGOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los riesgos derivados del cambio climático son fundamentalmente diferentes de los anteriores tipos de riesgos industriales. En efecto, los primeros se distinguen de los riesgos industriales y tecnológicos tanto por su imprevisibilidad en el tiempo como por la naturaleza colectiva de los daños que pueden causar. De hecho, sus víctimas potenciales son menos fáciles de identificar que los residentes que viven cerca de una instalación peligrosa.

En primer lugar, el cambio climático tiene impactos mucho más amplios y difusos que cualquier otro tipo de actividad humana. La respuesta normativa para evitar el aumento de la temperatura es mucho más compleja que en el ámbito medioambiental tradicional. De hecho, se trata más de la acumulación de GEI en la atmósfera debido a la producción en masa, la globalización y el libre comercio, la agricultura intensiva, junto con el aumento del transporte por carretera y aéreo, que de las emisiones de un número limitado de plantas industriales cuya contaminación puede controlarse y reducirse fácilmente.

En segundo lugar, como el cambio climático está causado por un conjunto de actividades naturales y humanas, los expertos no pueden precisar la contribución exacta de cada una de ellas al fenómeno. Por ejemplo, el metano —el segundo mayor contribuyente al calentamiento global inducido por el hombre— es emitido tanto por la agricultura intensiva como por fuentes naturales que incluyen humedales, masas de agua dulce, incendios forestales y permafrost. Para complicar aún más las cosas, algunos gases tienen efectos más potentes que otros a la hora de atrapar el calor. Es el caso del óxido nitroso (N_2O), cuyo efecto de captura de calor es unas 310 veces, y del metano, que es 25 veces más potente que el CO_2 . Los halocarbonos son cientos o miles de veces más potentes que el CO_2 y permanecen en la atmósfera durante siglos.

En tercer lugar, los cambios no tienen precedentes, al menos desde el final de la última era glacial. El ritmo del cambio es rápido en comparación con los índices históricos ordinarios de cambio climático, y también está superando la capacidad de los ecosistemas para adaptarse¹⁸.

A diferencia de los riesgos industriales, no podemos aprender de la experiencia pasada. Dado el carácter novedoso de la amenaza, parece adecuado que los responsables de la toma de decisiones actúen de acuerdo con el principio de precaución, que se aplica precisamente cuando los expertos no pueden contar con la experiencia anterior.

¹⁸ HOLDREN, J. P., «Introduction», en SCHNEIDER, S. *et al.*, *Climate Change Science and Policy*, Island Press, 2009, p. 5.

En cuarto lugar, los ganadores y perdedores previstos del cambio climático se distribuyen de forma desigual en el tiempo y el espacio¹⁹. Este tema da lugar a difíciles cuestiones de equidad (p. ej., el principio de responsabilidad común pero diferenciada).

En quinto lugar, independientemente del escenario considerado, el IPCC subraya cómo es

«prácticamente seguro que se produzcan temperaturas extremas calientes más frecuentes y fría menos frecuentes en la mayoría de las zonas continentales, en escalas temporales diarias y estacionales, conforme vaya aumentando la temperatura media global. Es muy probable que haya olas de calor con mayor frecuencia y más duraderas»²⁰.

Así, los impactos son desiguales. A modo de ejemplo, en el Polo Norte, el aumento de temperatura observado es dos veces más importante que en latitudes más bajas. Las regiones más vulnerables varían en toda Europa. La intensidad de las precipitaciones ha aumentado en los últimos cincuenta años en el norte de Europa, mientras que se prevé un aumento de la duración y la frecuencia de las sequías en el sur y el sureste de Europa. Por si fuera poco, es probable que los países en desarrollo se vean más afectados que los países desarrollados. En particular, el cambio climático agravará los problemas en los países que sufren escasez crónica de agua. Además de tener una menor capacidad de adaptación, se espera que el África subsahariana experimente repercusiones especialmente duras del cambio climático.

Dentro de los países, las comunidades de bajos ingresos —sobre todo las establecidas en zonas costeras— son las que probablemente se verán más afectadas por la subida del nivel del mar y los huracanes.

Dicho esto, aunque el creciente acervo de conocimientos técnicos reunidos desde la creación del IPCC ha incrementado enormemente nuestro conocimiento del sistema climático dado su alcance y novedad, las cuestiones relativas al cambio climático siguen estando impregnadas de incertidumbre. En efecto, los científicos no pueden determinar con precisión la regularidad, la frecuencia y la magnitud de los impactos, independientemente de la calidad de sus modelos.

Así, los impactos potenciales provocados por el cambio climático pueden variar según los siguientes términos:

- El tiempo de latencia entre el aumento de las temperaturas y el impacto real de los daños (gradual o abrupto).
- La velocidad (aceleración o desaceleración).

¹⁹ GRASSL, H., y METZ, B., «Climate change: science and the PP», *Informe AEMA 2013*, p. 309.

²⁰ IPCC, *Cambio climático 2013: Bases físicas*. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V., y MIDGLEY, P. M., Cambridge University Press, 2013.

- La frecuencia de los fenómenos naturales (tormentas, inundaciones, sequías, incendios forestales, erosión).
- La duración (persistente, reversible, lentamente reversible, irreversible, multigeneracional).
- La magnitud (acumulativa o sinérgica, grave o insignificante).
- La localización (por ejemplo, cambio en la distribución regional de las precipitaciones, acidificación de los océanos, calentamiento de la región ártica más rápido que la media normal, calentamiento sobre la tierra mayor que sobre el océano, aumento de la concentración de ozono).
- Los efectos (salud humana, países vulnerables, pérdida de biodiversidad, rendimientos agrícolas, turismo).
- La escala (mundial, continental o regional)²¹.

Para complicar aún más las cosas:

- Aunque la cuantificación precisa de los factores climáticos antropogénicos y naturales es crucial para los modelos del sistema terrestre, esta está plagada de incertidumbres.
- Las fluctuaciones naturales de la temperatura global están siempre presentes, lo que ha provocado cambios multidecadales y a largo plazo durante el último milenio²².
- La variabilidad está vinculada a los forzamientos naturales, especialmente a las erupciones volcánicas y a los aerosoles antropogénicos.

La incertidumbre impregna todos estos factores. En concreto, afecta al cálculo de la velocidad del fenómeno, así como a la naturaleza y al alcance de los efectos adversos que puede acarrear. En un contexto de incertidumbre, los expertos proponen escenarios en lugar de afirmaciones. El lenguaje del IPCC sobre la certeza es, por tanto, un testimonio del hecho de la existencia de muchas incógnitas sobre el calendario, la magnitud y las pautas regionales del cambio climático²³, aunque muchas incertidumbres hayan disminuido con el tiempo. Por ejemplo, el Informe especial del IPCC de 2019 sobre el océano y la criosfera en un clima cambiante describe con «una confianza muy alta» o «una confianza alta» una serie de impactos del cambio climático (reducción de la capa de nieve, aumento de la temperatura del permafrost, reducción de la extensión del hielo ártico, etc.) y evalúa como «probable» o «muy probable» escenarios próximos (calentamiento del océano, aumento del nivel del mar, etc.). El hecho es que las temperaturas están aumentando. La terminología usada por la IPCC recogía una evaluación cualitativa y no cuantitativa.

El último informe de 2021 utiliza una terminología mucho más afirmativa. Por ejemplo, afirma que la influencia humana es «muy probablemente»

²¹ DE SADELEER, N., *Environmental Principles*, 2.^a ed., Oxford, OUP, 2020, pp. 262-263.

²² SCHURER, A. P., *Importance of the Pre-Industrial Baseline in Determining the Likelihood of Exceeding the Paris Limits*, *Nat Clim Chang*, 2017, pp. 563-567.

²³ BIRNIE, P.; BOYLE, A., y REDGWELL, C., *International Law & the Environment*, 3.^a ed., Oxford, OUP, 2009, p. 337.

el principal desencadenante de un gran número de impactos (la pérdida de los glaciales, el deshielo ártico, la menor capa de nieve)²⁴.

Por otro lado, el IPCC sostiene que es virtualmente cierto (*virtually certain*) que la capa superior de los océanos ha venido sufriendo un calentamiento desde la década de los setenta como consecuencia de la influencia humana²⁵.

Queda expuesto que la terminología evoluciona, debido sobre todo a que los científicos se acercan a la certeza en cuanto a la amplitud de este fenómeno.

V. INCERTIDUMBRES PERSISTENTES

La incertidumbre no es un concepto absoluto, estático o claro. Dado que este término está sujeto a diferentes interpretaciones, no es una tarea fácil abordarlo. La incertidumbre científica existe siempre que no hay una base teórica o empírica adecuada para asignar probabilidades a la ocurrencia o al alcance de un riesgo.

En lo que respecta a los riesgos del cambio climático, existe un fuerte déficit de capacidad de predicción. Aunque las pruebas de que el cambio climático tiene un origen antropogénico se han reforzado continuamente desde el informe del IPCC de 1995 (de «muy alta confianza» en el Informe de Evaluación del IPCC AR4 a «extremadamente probable» en el AR5), la conexión entre las emisiones de gases de efecto invernadero y el cambio climático aún no se comprenden del todo²⁶.

A pesar de los repetidos esfuerzos de la comunidad científica, todavía no hay esperanzas de poder llegar a comprender plenamente las complejidades de las interacciones de la atmósfera, los océanos y los GEI²⁷.

Los siguientes ejemplos son ilustrativos de los obstáculos a los que se enfrentan los expertos.

— Los ecosistemas no responden de forma lineal a los impactos del cambio climático. La ausencia de medidas de mitigación para los ecosistemas aumenta su vulnerabilidad a la degradación y al colapso²⁸.

— La combinación de los factores de estrés existentes, como la sobrepesca, la pérdida de hábitats marinos, las especies invasoras y la con-

²⁴ IPCC, *Cambio climático 2021: Bases Físicas*, Contribución del Grupo de trabajo I. e.1.5, 2021.

²⁵ IPCC, *Cambio climático 2021: Bases Físicas*, Contribución del Grupo de trabajo I. e.1.6, 2021.

²⁶ IPCC, *Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Parte A: Aspectos mundiales y sectoriales*, Contribución del Grupo de trabajo II. 1.2.4 The Role of Uncertainty, 2014.

²⁷ IPCC, *El océano y la criosfera en un clima cambiante: Resumen para responsables de políticas*, 2019.

²⁸ KUNDIS CRAIG, R., «Ocean adaptation», en FARBER, D. A., y PEETERS, M., *Climate Change Law, Elgar Encyclopedia of Environmental Law*, E. Elgar, 2016, p. 569.

taminación (vertidos de petróleo, microplásticos) con los efectos negativos acumulados del cambio climático (desplazamiento hacia los polos del área de distribución de las poblaciones de peces, acidificación de los océanos) complican las tareas de los gestores de la pesca²⁹. La incapacidad de muchas de las Organizaciones Regionales de Ordenación Pesqueras para tener en cuenta en sus modelos los cambios medioambientales que están impregnados de incertidumbre está dando lugar a sesgos. Además, muchas de las organizaciones pesqueras tendrán que operar cada vez más en la incertidumbre. Por tanto, es esencial mejorar su capacidad para anticiparse y responder adecuadamente a los nuevos retos.

— La compleja cadena de retroalimentación entre el clima y los incendios forestales presenta un amplio conjunto de incertidumbres. La adaptación de la vegetación y los ecosistemas al fuego no deja de ser un tema complejo. Es probable que los efectos del cambio climático sobre los incendios forestales varíen considerablemente en función de la vegetación y de la disponibilidad o inflamabilidad del combustible (como consecuencia de una intensa sequía). El efecto de los incendios forestales en zonas con diferentes niveles de riqueza de especies puede ser desigual. Los bosques con mayores niveles de protección para la conservación de la biodiversidad pueden mostrar valores de gravedad de los incendios más bajos, mientras que las plantaciones probablemente sean menos resistentes³⁰.

— Aunque los océanos desempeñan un papel importante en la dinámica del clima mundial, sigue habiendo considerables incertidumbres sobre su influencia en los sistemas climáticos. Su papel como factor de mitigación se ha subestimado considerablemente³¹.

Por si fuera poco, es probable que las catástrofes naturales, como los incendios, sean cada vez más frecuentes, lo que a su vez da lugar a nuevas emisiones que hasta ahora no se han tenido en cuenta adecuadamente en los modelos climáticos. Si el calentamiento acelera la evaporación, dando lugar a la formación de nubes, estas podrían a su vez amplificar fuertemente el fenómeno del calentamiento (al atrapar la radiación infrarroja) en lugar de servir para estabilizarlo (al reflejar los rayos solares). Al explorar estas cuestiones, los científicos proponen escenarios más que afirmaciones.

Además, aún persisten otras incertidumbres debidas a la ignorancia irreductible o al desacuerdo entre lo que se sabe y lo que no se sabe. Por ejemplo, la incertidumbre epistemológica surge como consecuencia de las lagunas del

²⁹ RAYFUSE, R., «Addressing climate change impacts», en CADDELL, R., y MOLENAAR, C. (eds.), *Strengthening International Fisheries Law in an Era of Changing Oceans*, Oxford, Hart, 2019, p. 249.

³⁰ SPASOJEVIC, M. J.; BAHLAI, C. A.; BRADLEY, B. A.; BUTTERFIELD, B. J.; TUANMU, M.-N.; SISLA, S.; WIEDERHOLT, R., y SUDING, K. N., *Scaling up the diversity-resilience relationship with trait databases and remote sensing data: the recovery of productivity after wildfire*, *Global Change Biology*, 2016, pp. 1421-1432.

³¹ MASTRANDREA, M., y SCHNEIDER, S., «Climate Change Science Overview», en SCHNEIDER, S. et al., *Climate Change Science and Policy*, Island Press, 2019, pp. 17-19.

conocimiento científico. En otras palabras, los científicos conocen los efectos de una situación, pero no pueden determinar la probabilidad de que se produzcan. Hay varios factores que pueden agravar la incertidumbre epistemológica.

— *Indeterminación*. Se comprenden las relaciones causales pero no se puede estimar la intensidad de la relación entre causa y efecto porque los expertos no conocen todos los factores que influyen en las cadenas causales. En este sentido, los expertos en cambio climático no pueden determinar con precisión la liberación de GEI que concurre en el cambio de la temperatura media de la atmósfera.

— *Ambigüedad*. El grado de incertidumbre está influido por la forma en que los expertos interpretan los datos científicos disponibles. A la hora de considerar los mismos datos, dos expertos diferentes pueden llegar a conclusiones distintas sobre la existencia o no de incertidumbre. Los resultados contradictorios dan lugar a la ambigüedad.

— *Incertidumbre*. La realidad de la ciencia dicta que los científicos, sea cual sea la calidad de sus investigaciones, nunca podrán eliminar algunas incertidumbres; por ejemplo, puede haber demasiadas variables imprevisibles que impidan identificar las influencias relativas de cada factor.

— *Inconmensurabilidad*. Dado que el aumento de la temperatura da lugar a múltiples impactos, una multitud de peligros da lugar a un problema de inconmensurabilidad.

En lo que respecta al cambio climático, estas subcategorías están muy correlacionadas. A modo de ejemplo, el grupo de trabajo del IPCC sobre la mitigación ha subrayado que «la evaluación de la incertidumbre y la precaución necesaria está plagada de trampas complejas». Entre ellos, «la escala global, los largos desfases entre el forzamiento y la respuesta, la imposibilidad de realizar pruebas experimentales antes de que se produzcan los hechos y la variabilidad de baja frecuencia, con periodos más largos que la duración de la mayoría de los registros»³².

El resto de las incertidumbres pueden estar compuestas por factores naturales: la resiliencia de los ecosistemas (su capacidad para recuperarse de las perturbaciones), la reversibilidad o irreversibilidad de los daños, etcétera.

El principio de precaución tiene implicaciones reales para los gestores de riesgos cuando se enfrentan a puntos de inflexión, más allá de los cuales pueden producirse cambios abruptos y dramáticos. Algunos de estos cambios no lineales están relacionados con las retroalimentaciones positivas del sistema climático y, por tanto, pueden acelerar el cambio climático. Si se cruza un punto de inflexión es imposible controlar la evolución del sistema climático. A título ilustrativo, los acontecimientos singulares a gran escala que son componentes del sistema global de la Tierra [ralentización de la cir-

³² IPCC, *Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Parte A: Aspectos mundiales y sectoriales*, Contribución del Grupo de trabajo II. 10.4.2.2 Precautionary Considerations, 2014.

culación de **vuelvo meridional** del Atlántico (AMOC), El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y el papel del Océano Antártico en el ciclo global del carbono] se considera que corren el riesgo de alcanzar puntos de inflexión críticos (*tipping points*) en el marco del cambio climático, y que pueden dar lugar o estar asociados a cambios importantes en el sistema climático³³. De otro modo, los efectos de retroalimentación del calentamiento y la acidificación de los océanos desde el Ártico al resto del planeta pueden agravar por sí mismos el cambio climático, y el deshielo³⁴. El derretimiento del hielo incluye la fusión del permafrost en el Ártico, lo que provoca la liberación de metano, que es un gas verde unas 34 veces más potente que el CO₂.

En el informe de 2021, el IPCC subraya que las respuestas de los ecosistemas al aumento de las temperaturas no han podido ser incluidas en los modelos climáticos. Toda una serie de factores desconocidos son susceptibles de aumentar las concentraciones de GEI en la atmósfera.

La magnitud del *feedback* entre el cambio climático y el ciclo del carbono deviene mayor y también más incierta en escenarios de altas emisiones de CO₂. Sin embargo, las proyecciones de los modelos climáticos muestran que las incertidumbres en cuanto a las concentraciones de CO₂ en la atmósfera para 2100 están dominadas por las diferencias entre escenarios de emisiones (confianza alta). Las respuestas adicionales de los ecosistemas al calentamiento que aún no se han incluido totalmente en los modelos climáticos, como los flujos de CO₂ y CH₄ de los humedales, el deshielo del permafrost y los incendios forestales, aumentarían aún más las concentraciones de estos gases en la atmósfera (confianza alta).

Otro ejemplo de cambio irreversible no lineal sería el aumento de la acidez de los océanos, que agotaría la biodiversidad marina, o el deshielo del permafrost provocado por el aumento de las temperaturas en el Ártico, que podría provocar un aumento de las emisiones de metano. De la misma manera, el deshielo de la nieve y el hielo, los cuales tienen una alta reflectividad (albedo), constituye un claro ejemplo de cambio irreversible. Hasta el 90 por 100 de la radiación solar incidente es reflejada por las superficies de nieve y hielo. Como la nieve y el hielo se funden a temperaturas más altas, es probable que los océanos absorban la radiación solar y contribuyan en mayor medida al calentamiento del sistema climático. ¿Cuán cerca estamos de estos puntos de inflexión? ¿Qué ocurrirá si se alcanzan? Los riesgos asociados a estos grandes acontecimientos pasan a ser «moderados» o «desproporcionadamente altos» en función del aumento de las temperaturas por encima de los niveles preindustriales³⁵.

³³ IPCC, *Informe especial sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C*, 2018, p. 83.

³⁴ REID, P. C.; FISCHER, A. C.; LEWIS-BROWN, E.; MEREDITH, M. P.; SPARROW, M.; ANDERSSON, A. J. *et al.*, «Chapter 1. Impacts of the oceans on climate change», *Adv. Mar. Biol.*, núm. 56, 2009, pp. 1-150. DOI: 10.1016/S0065-2881(09)56001-4.

³⁵ *Ibid.*

La perspectiva de alcanzar un posible punto de inflexión debería aumentar la precaución en este campo.

Por último, pero no por ello menos importante, las incertidumbres pueden provenir de algo más que una simple falta de datos o un modelo inadecuado de evaluación de riesgos. Los aspectos de incertidumbre están asociados a cada eslabón de la cadena causal del cambio climático, empezando por las emisiones de GEI, abarcando los daños causados por el cambio climático, seguidos por una serie de medidas de mitigación y adaptación. En consecuencia, los informes del IPCC proyectan diversas concentraciones de GEI, que varían debido a una serie de escenarios que se sustentan en diferentes desarrollos políticos, socioeconómicos, tecnológicos y demográficos. Concretamente, las estimaciones de daños son propensas a la baja confianza, ya que implican incertidumbre tanto en los sistemas naturales como en los socioeconómicos³⁶.

Aunque el calentamiento observado es inequívoco, en lo que respecta a los impactos a largo plazo los científicos se enfrentan a un alto nivel de incertidumbre agravado por una serie de factores antropogénicos.

— En cuanto a las tendencias demográficas, en 2050 la población mundial crecerá probablemente hasta los 9.900 millones de personas, y lo seguirá haciendo hasta bien entrado el próximo siglo. Es probable que este crecimiento demográfico aumente la combustión de combustibles y las emisiones de GEI.

— El aumento del comercio y del crecimiento del PIB, los patrones de consumo y las opciones de política energética conducirán probablemente a un aumento de las emisiones de GEI.

— Las innovaciones tecnológicas de emisiones negativas (almacenamiento de carbono, fertilización de los océanos) podrían absorber algunos de los efectos negativos. Sin embargo, dado que estas medidas no han sido probadas a gran escala, no se pueden evaluar sus impactos positivos y negativos; *ergo*, pueden implicar compensaciones de riesgo.

— Por último, los efectos potenciales de las medidas de mitigación (inversión en energías renovables, descarbonización de la economía, políticas de reducción) podrían desempeñar un papel positivo.

Muchos ecosistemas responden a los factores de estrés antropogénicos de forma no lineal, por lo que la mezcla de estos factores naturales y socio-políticos impide dar respuestas claras³⁷. Por muy sofisticados que sean los modelos climáticos, nunca captarán plenamente la realidad.

Mientras la ciencia que rodea al cambio climático esté lastrada por un alto nivel de incertidumbre, el principio de precaución tendrá implicaciones

³⁶ IPCC, *Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Parte A: Aspectos mundiales y sectoriales*, Contribución del Grupo de trabajo II. 10.4.2.2 Precautionary Considerations, 2014.

³⁷ CALDWELL, M. R., y LOUGHNEY MELIUS, M., «Coastal issues», en FARBER, D. A., y PEETERS, M., *Climate Change Law, Elgar Encyclopedia of Environmental Law*, E. Elgar, 2016, p. 581.

reales para los gestores de riesgos (*risk managers*), cuando se enfrenten al riesgo de cruzar puntos de inflexión. Por tanto, dichos gestores de riesgo deberían incorporar, en sus estrategias de reducción y mitigación del cambio climático, los acontecimientos no lineales, imprevisibles y extremos, así como los peores escenarios posibles y los impactos más allá de 2100.

VI. CONFIGURAR LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Huelga decir que la transición hacia sociedades más resilientes requerirá tanto medidas de adaptación como de mitigación. La línea divisoria entre estas dos categorías de medidas es muy fina. Las primeras tienen como objetivo «reducir los impactos negativos inevitables ya a más corto plazo, reduciendo la vulnerabilidad a la variabilidad climática actual y aprovechando las oportunidades que ofrece el cambio climático», mientras que las medidas de mitigación tienen como objetivo minimizar las emisiones de GEI para limitar los impactos adversos a largo plazo del cambio climático³⁸.

Como se subraya en el 5.º ACR del IPCC, cuando las pruebas abrumadoras son tan convincentes y los costes son cada vez mayores, se requieren reducciones sustanciales y sostenidas de las emisiones de GEI para limitar un mayor cambio climático³⁹.

Aunque no existe una receta única para una combinación de políticas climáticas que asegure el éxito, no cabe duda de que hay algunos instrumentos que probablemente sean más eficaces que otros. Dado que el principio de precaución no impone ninguna medida específica, cada medida de mitigación debe determinarse mediante un análisis casuístico, teniendo en cuenta los diferentes contextos socioeconómicos. Estas medidas pueden adoptar, entre otras, la forma de prohibiciones, restricciones, autorizaciones, reducción de emisiones, notificaciones, vigilancia, requerimiento de las mejores tecnologías disponibles, esquemas *cap and trade*⁴⁰, impuestos sobre el carbono, tasas, eliminación de subvenciones a los combustibles, etc. Además, las actividades susceptibles de ser objeto de medidas cautelares contra el cambio climático pueden ir desde las instalaciones catalogadas hasta la aviación⁴¹.

Como la evaluación de riesgos interactúa constantemente con la gestión de riesgos, oponer la ciencia a la precaución resulta improductivo. En el

³⁸ Informe conjunto de la AEMA, el CCI y la OMS, *Los impactos del cambio climático en Europa: una evaluación basada en indicadores*, Luxemburgo, Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, 2008, p. 35.

³⁹ IPCC, *ARC 5 Resumen para responsables de políticas*, 2014, p. 19.

⁴⁰ Véase la Directiva 2003/87/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad, *DO L 275*, de 25 de octubre de 2003, p. 32.

⁴¹ Véase la STJUE de 21 de diciembre de 2011, *Air Transport Association of America e.a.*, asunto C-366/10, rec. 2011 p. I-13755, EU:C:2011:864.

cambio climático, la incertidumbre es la norma y no la excepción: los científicos no están llamados a eliminarla. Sin embargo, al abordar los efectos adversos a largo plazo de este fenómeno, deben informar a los responsables de la toma de decisiones de que la situación está rodeada de incertidumbre científica. Dado que nos enfrentamos a la posibilidad de que se produzcan efectos irreversibles a gran escala, los científicos desempeñan un papel fundamental en la tarea de informar a los responsables de la toma de decisiones, aunque acaben planteando escenarios en lugar de afirmaciones.

En este contexto, los evaluadores de riesgos no deben descartar los efectos no lineales a largo plazo, que están sujetos a una mayor incertidumbre; han de tener en cuenta todas las incertidumbres implicadas. En concreto, las evaluaciones de impacto ambiental (EIA)⁴² y las evaluaciones ambientales estratégicas⁴³ no solo deben reducir la incertidumbre, sino también reconocer explícitamente las fuentes de incertidumbre que persisten, en lugar de enterrarlas en meras suposiciones⁴⁴.

Tanto la dimensión cuantitativa como la cualitativa de la incertidumbre deben explicarse a fondo. En consecuencia, la identificación de cualquier incertidumbre persistente debería desencadenar un mayor nivel de precaución entre los responsables de la toma de decisiones. Un paso aún más importante sería que el procedimiento de EIA obligara a los responsables de la toma de decisiones a considerar una serie de cursos de acción reversibles para aprovechar los nuevos conocimientos. Aunque signifique renunciar a un proyecto, el autor de una EIA debería recomendar opciones reversibles con preferencia a las irreversibles. La búsqueda de variantes debe convertirse en su principal tarea⁴⁵.

Como el principio de precaución trata de facilitar la adopción de medidas preventivas para evitar la degradación del medio ambiente por no tener certeza científica, la certeza científica o la «ciencia sólida» ya no puede considerarse como el punto de referencia absoluto para la toma de decisiones a largo plazo. De hecho, como ha reconocido el IPCC, la incertidumbre no puede ser un argumento para retrasar la acción. En consecuencia, los responsables de la toma de decisiones deben tener plenamente en cuenta los distintos escenarios planteados por los expertos y preguntarse cómo pueden los posibles afectados tomar medidas para reducir los impactos adversos mediante una mejor gestión de los ecosistemas⁴⁶ «con espíritu de solida-

⁴² Véase la Directiva 2011/92/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de diciembre, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente, *DO L 26*, de 28 de enero de 2012, p. 1.

⁴³ Véase la Directiva 2001/42/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de junio, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente, *DO L 197*, de 21 de julio de 2001, p. 30.

⁴⁴ DE SADELEER, N., *Environmental Principles*, 2.^a ed., Oxford, OUP, 2020, p. 341.

⁴⁵ *Ibid.*, p. 342.

⁴⁶ DAN TRALOCK, A., «Water availability and allocation», en FARBER, D. A., y PEETERS, M. (eds.), *Climate Change Law, Elgar Encyclopedia of Environmental Law*, E. Elgar, 2016, p. 546.

ridad mundial para conservar, proteger y restablecer la salud y la integridad del ecosistema de la Tierra»⁴⁷.

En especial, deberían prestar atención a las escalas temporales considerablemente ampliadas, ya que la incertidumbre prevalece principalmente durante el periodo que transcurre entre una causa y la posterior manifestación de un efecto nocivo. Una plena integración de las dimensiones cuantitativa y cualitativa de la incertidumbre debería ayudarles a abordar de manera más adecuada los riesgos a largo plazo.

A modo de ejemplo, el calentamiento de los océanos ha contribuido a una disminución general del potencial máximo de capturas, agravando los efectos de la sobrepesca en algunas poblaciones de peces. En lo que respecta a las pesquerías que han sido objeto de sobreexplotación, la precaución debería incitar a los poderes públicos a pecar más bien por exceso de seguridad («*err on the safe side*»).

Independientemente de la calidad de las medidas de mitigación adoptadas hasta ahora, la acumulación de GEI en la atmósfera está provocando el aumento de las temperaturas. Lo que importa es que las medidas de precaución se pongan en marcha con vistas a alcanzar el nivel de protección estipulado por las Partes en el Acuerdo de París. La cuestión de cómo determinar un nivel de riesgo aceptable ha estado cargada de controversias, debido a la intención del CMNUCC de estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera.

La mención del ecosistema de la Tierra implica la unidad de ese sistema en contraste con la división de la Tierra en estados territoriales⁴⁸. En el marco de la cooperación, los países desarrollados deberían asumir una mayor responsabilidad a la hora de poner a disposición de los países en desarrollo las tecnologías de reducción.

Por último, cabe señalar que el principio de precaución no desempeña ningún papel a la hora de decidir el reparto de los costes de las medidas de prevención y mitigación. Esta cuestión debe resolverse con referencia al principio de precaución y al principio de responsabilidad común, pero diferenciada⁴⁹.

Finalmente, es preciso añadir que los tribunales supremos tienen en consideración el principio de precaución y la incertidumbre imperante en los modelos climáticos en el control de legalidad.

Así lo demuestra la jurisprudencia constitucional alemana.

⁴⁷ Principio séptimo de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

⁴⁸ BOTHE, M., «Whose environment? Concepts of commonality in international environmental law», en WINTER, G. (ed.), *Multilevel Governance of Global Environmental Change*, Cambridge, CUP, 2006, p. 544.

⁴⁹ Art. 3 CMNUCC.

En su Sentencia de 24 de marzo 2021, el Tribunal Constitucional considera que el art. 20.a) de la Constitución Alemana (*Grundgesetz*)⁵⁰ impone un deber de diligencia⁵¹. El legislador está obligado a tener en cuenta la probabilidad de que se produzcan daños graves e irreversibles, siempre que los datos científicos sean suficientemente creíbles. Por otra parte, es jurisprudencia reiterada que el art. 20.a) impone al legislador la obligación permanente de desarrollar el derecho ambiental en función de los últimos avances científicos. En consecuencia, el Tribunal Constitucional obliga al legislador a establecer un marco claro y concreto para alcanzar la neutralidad climática a más tardar en 2050, de forma que se garantice un reparto justo de las cargas entre las generaciones. De ello se desprende que el legislador viola el principio de precaución cuando no planifica prudentemente la reducción de las emisiones de efecto invernadero con la intención de proteger los derechos fundamentales. Las disposiciones pertinentes de la Ley del Clima alemana que no satisfacen esta obligación fueron declaradas inconstitucionales.

VII. LA MEJORA DE LA PROTECCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS PARA MITIGAR EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

La pérdida de biodiversidad y el colapso de los ecosistemas se encuentran entre las mayores amenazas a las que se enfrenta la humanidad ante la próxima década. Por ejemplo, la pérdida de biodiversidad de los ecosistemas marinos y costeros se ve considerablemente agravada por el calentamiento global⁵².

El cambio climático tiene un efecto dominó en los ecosistemas. Los ecosistemas son cada vez más vulnerables como consecuencia del cambio climático. La degradación de un ecosistema puede llevar rápidamente a la pérdida de sus hábitats. Como las incertidumbres son muy elevadas en este ámbito, el principio de precaución va a desempeñar un papel importante en el futuro.

Por esta razón, las crisis simultáneas, climática y de biodiversidad, no pueden tratarse por separado. El cambio climático acelera la destrucción del mundo natural a través de sequías, inundaciones e incendios forestales, y la pérdida de reservas naturales y su explotación insostenible, por su parte, son factores clave del cambio climático.

⁵⁰ Consciente también de su responsabilidad para con las generaciones futuras, el Estado protegerá los fundamentos naturales de la vida y animales por la legislación y, de acuerdo con la ley y la justicia, mediante la acción ejecutiva y judicial, todo ello dentro del marco del orden constitucional.

⁵¹ BvR 2656/18, 1 BvR 96/20, 1 BvR 288/20, 1 BvR 78/20.

⁵² Véase, por ejemplo, el informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, *Special Report on the Ocean and the Cryosphere in a Changing Climate*, 2019.

Por el otro lado, los ecosistemas ayudan a regular el clima. A título ilustrativo, los océanos son la columna vertebral de nuestro planeta y desempeñan un papel crucial en la regulación del impacto del cambio climático, en parte absorbiendo el exceso de calor y en parte actuando como enormes sumideros de las emisiones de carbono. El IPCC evaluó que el 90 por 100 del calor combinado almacenado en los sistemas climáticos ha sido absorbido por los océanos entre 1971 y 2010⁵³. El último informe especial del IPCC sobre el océano y la criosfera en un clima cambiante de 2019 estableció que los océanos han absorbido aproximadamente el 30 por 100 del dióxido de carbono antropogénico emitido⁵⁴.

Sin embargo, es probable que el cambio climático modifique la química de los océanos y provoque su acidificación, un proceso que probablemente tenga amplias ramificaciones en la biodiversidad marina y los procesos biogeoquímicos. Por tanto, es una amenaza para la biodiversidad marina, incluida la pérdida de la mayoría de los arrecifes de coral a nivel mundial y la disminución de las especies, y a su vez para toda la dimensión humana asociada a ella, como los bienes, servicios y medios de vida que proporciona el océano⁵⁵.

En consecuencia, la protección y recuperación de humedales, turberas y ecosistemas costeros, o la gestión sostenible de zonas marinas, pastizales y suelos agrarios y forestales, serán esenciales para la reducción de emisiones y la adaptación al cambio climático⁵⁶. La plantación de árboles y el despliegue de la infraestructura verde nos ayudarán a enfriar las zonas urbanas y a mitigar el impacto de las catástrofes naturales.

En varias de sus estrategias adoptadas a raíz del Green Deal, la Comisión Europea propone mejorar la resiliencia de los ecosistemas como medida de mitigación. La Estrategia sobre Biodiversidad para 2030⁵⁷ pone de manifiesto que la recuperación de los ecosistemas fortalezca la resiliencia de la UE y contribuya a la mitigación del cambio climático⁵⁸.

La Comisión prevé aumentar la capacidad de los bosques, los suelos, los humedales y las turberas, los océanos y las masas de agua de la UE para actuar como sumideros y reservas de carbono. Los ecosistemas forestales están sometidos a una presión cada vez mayor, como consecuencia del cam-

⁵³ INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), *Climate Change Synthesis Report 40 (IPCC Fifth Report)*, 2014.

⁵⁴ INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, Chapter 3, IPCC, 2019.

⁵⁵ CASSOTTA, S., «Ocean Acidification in the Arctic in a Multi-Regulatory, Climate Justice Perspective», *Frontiers in Climate*, núm. 3, 2021, pp. 1-14.

⁵⁶ Comunicación de la Comisión, *Estrategia de la UE sobre la biodiversidad de aquí a 2030: Reintegrar la naturaleza en nuestras vidas*, COM (2020) 380 final, 20 de mayo de 2020, núm. 1, p. 1.

⁵⁷ Comunicación de la Comisión, *Estrategia de la UE sobre la biodiversidad de aquí a 2030: Reintegrar la naturaleza en nuestras vidas*, COM (2020) 380 final, 20 de mayo de 2020.

⁵⁸ *Estrategia de la UE sobre la biodiversidad*, núm. 2.2.1.

bio climático. Para reducir los riesgos climáticos, la estrategia forestal para la UE prevé que la superficie forestal de la UE debe mejorarse, tanto en calidad como en cantidad, para que la UE alcance la neutralidad climática y contra los incendios, las sequías, las plagas y otras amenazas que puedan agravarse con el cambio climático. De hecho, la forestación y reforestación sostenibles y la recuperación de bosques degradados pueden incrementar la absorción de CO₂, a la vez que mejoran la resiliencia de los bosques⁵⁹.

Del mismo modo, la condición y la diversidad de los agroecosistemas reforzará la resiliencia del sector frente al cambio climático⁶⁰.

VIII. OBSERVACIONES FINALES

Aunque no cabe duda de que el cambio climático observado es en gran parte atribuible al aumento de las actividades humanas tras la revolución industrial, la contribución de cada actividad al fenómeno, así como el calendario y la magnitud de los efectos adversos, siguen estando muy cargados de incertidumbre. Aunque ha disminuido en las últimas décadas gracias a la mejora de las metodologías y a los trabajos del IPCC, la incertidumbre sigue siendo importante en lo relativo a los impactos a largo plazo, en parte debido a la falta de conocimiento de los sistemas climáticos y a las limitaciones de la investigación científica. Hasta ahora, no hay forma de cuantificar la probabilidad de que se produzca y la magnitud de cada uno de los múltiples impactos, concretamente a nivel local. En particular, los expertos tienen dificultades para expresar la probabilidad de que se produzcan una serie de efectos adversos. Han de contar con una terminología bastante vaga como «baja probabilidad», «probabilidad poco conocida», etc. En consecuencia, los expertos se ven obligados a abordar tanto la dimensión cuantitativa como la cualitativa de los riesgos climáticos. La evaluación de los riesgos tiene que integrar tanto los fenómenos extremos como los peores escenarios.

Aunque la comunidad de investigadores ha ido reuniendo pruebas más precisas y fiables sobre los impactos reales y potenciales del cambio climático, es mucho más difícil calcular el riesgo de alcanzar o superar puntos de inflexión críticos que conlleven posibles impactos a gran escala e irreversibles.

A pesar de las pruebas cada vez más abrumadoras sobre los impactos del cambio climático, la acción sigue siendo lenta. En consecuencia, la comunidad internacional sigue sin adoptar una estrategia sólida de reducción de los gases de efecto invernadero. Las decisiones políticas no son coherentes con los techos de emisiones propuestos para alcanzar los objetivos de la

⁵⁹ Comunicación de la Comisión, *El Pacto Verde Europeo*, COM (2019) 640 final, de 11 de diciembre de 2019, núm. 2.1.7.

⁶⁰ Estrategia de la UE sobre la biodiversidad, núm. 2.2.2.

CMNUCC y del Acuerdo de París, y quizá tampoco lo sean en un futuro próximo⁶¹.

Al final, o bien resolvemos conjuntamente las crisis climática y de la naturaleza, o bien no resolvemos ninguna de ellas⁶². De hecho, ambas crisis están intrínsecamente relacionadas entre sí. El cambio climático acelera la destrucción del mundo natural a través de sequías, inundaciones e incendios forestales, y la pérdida de reservas naturales y su explotación insostenible, por su parte, son factores clave del cambio climático.

⁶¹ GRASSL, H., y METZ, B., «Climate change: science and the PP», *Informe AEMA 2013*, p. 336.

⁶² Comunicación de la Comisión, «Objetivo 55»: cumplimiento del objetivo climático de la UE para 2030 en el camino hacia la neutralidad climática, COM (2021) 550 final, de 14 de julio de 2021, núm. 2.3, p. 11.

