

# CON FIGURAS ACIONES ES 44

ADRIÁN ACOSTA SILVA • ARTURO BALDERAS  
• JULIA CARABIAS • ROLANDO CORDERA  
• GERMÁN GONZÁLEZ DÁVILA • DAVID  
IBARRA • CIRO MURAYAMA • CARLOS TELLO  
• JOSÉ WOLDENBERG

REVISTA DE LA FUNDACIÓN PEREYRA Y DEL  
INSTITUTO DE ESTUDIOS PARA LA TRANSICIÓN DEMOCRÁTICA

# CON FIGURA CIONES

Núm. 44

Mayo-agosto de 2017

Rolando Cordera Campos **P**resentación **3**

---

## LOS DILEMAS DE LA DEMOCRACIA

---

José Woldenberg **P**arlamentarismo o ajustes al régimen de gobierno **5**

Adrián Acosta Silva **E**l interés, ¿no mentirá? Las (nuevas) crisis de las democracias: de la ingobernabilidad a la fatiga institucional **14**

---

## ECONOMÍA Y SOCIEDAD

---

David Ibarra **P**aradigmas económicos corroídos **28**

Carlos Tello Macías **A**spectos económicos y sociales de la Constitución, programas de gobierno y presupuesto público **45**

---

## MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE

---

Germán González Dávila **T**ransgresión de umbrales planetarios y desarrollo sustentable **54**

Julia Carabias **M**edio ambiente sano, condición para una vida digna y segura **80**

Arturo Balderas **L**a relación México-EUA en la era Trump **95**

---

**L**ibros recientes **108**

**DOCU  
MENTOS**

---

Ciro Murayama, **Todo lo que usted quiso saber acerca de la fiscalización de las campañas de 2017** **113**

**CON  
FIGURA  
CION  
ES**

*Revista de la Fundación Pereyra y del Instituto de Estudios para la Transición Democrática*

*Director:* Rolando Cordera Campos • *Subdirectora editorial:* Eugenia Huerta

*Consejo de redacción:* Antonio Ávila Díaz • Rosa Elena Montes de Oca • Ciro Murayama Rendón • Emilio Ocampo Arenal • Ramón Carlos Torres • José Woldenberg

*Comité editorial:* Antonella Attili • Bernardo Barranco • María Amparo Casar • Luis Emilio Giménez Cacho • Anamari Gomís • Marta Lamas • Julio López G. • Rafael Pérez Pascual • Teresa Rojas • Nora Rabotnikof • Carlos Rocés<sup>†</sup> • Luis Salazar • Adolfo Sánchez Rebolledo<sup>†</sup> • Raúl Trejo Delarbre

*Configuraciones.* Revista cuatrimestral, mayo-agosto de 2017. Director y editor responsable: Rolando Cordera Campos. Número de certificado de reserva de derechos al uso exclusivo del título 04-2011-101712165400-20. Certificado de licitud de título (en trámite). Insurgentes Sur 1793-201 "C", Col. Guadalupe Inn, Del. Álvaro Obregón, 01020 Ciudad de México. Impreso en Offset Rebosán, S.A. de C.V., Acueducto 115, 14370 Ciudad de México. *Distribución:* nosotros mismos.

*Diseño original:* Rafael López Castro • *Tipografía y formación:* Socorro Gutiérrez, en Redacta, S.A. de C.V.

ISSN 1405-8847

Los artículos son responsabilidad de los autores. Tiraje 500 ejemplares.

## Transgresión de umbrales planetarios y desarrollo sustentable

Germán González Dávila\*

### Presentación

**P**arafraseando a Dickens, en este principio del siglo XXI vivimos el mejor y el peor de los tiempos, la edad del conocimiento y de la ignorancia, una primavera de esperanzas y un invierno de amenazas globales. El mundo experimenta una prosperidad sin precedentes, acompañada de una profunda desigualdad entre los que más y los que nada tienen. Más de mil millones de personas viven en extrema pobreza y hambre, mientras que el puñado de familias más ricas del planeta poseen la riqueza de media humanidad.

Cuando, en 1972, se publicó *Los límites del crecimiento*, muy pocos reconocieron que, en efecto, el planeta es finito e impone límites físicos al crecimiento. La acusación central era por neomalthusianismo. La población mundial rondaba los 3700 millones de habitantes, y crecía a tasas exponenciales; pero se afirmaba que el mundo “alcanzaba para todos, el problema era de distribución, no de capacidad productiva”.

Hoy día, 45 años después, somos 7400 millones de habitantes en el planeta, la mayor parte de los cuales habitamos en ciudades y tenemos hábitos de consumo que incrementan las presiones adversas sobre los ecosistemas y la biosfera en su conjunto. Tenemos también capacidades para desestabilizar procesos que intervienen en el funcionamiento de la biosfera, como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad o el adelgazamiento de la capa de ozono. El escenario tendencial anuncia 9500 millones de habitantes para el año 2050, con un crecimiento económico que se multiplicará por cuatro; las presiones sobre las bases naturales de nuestra vida se agravarán.

En estas condiciones, los mejores *think tanks* del planeta especializados en estos asuntos han desarrollado diversos enfoques y modelos de análisis, entre los

\* Biólogo, coordinador ejecutivo del Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Ambiente, A.C.

cuales sobresalen: el producto interno neto ecológico (PINE), la huella ecológica, la métrica de la apropiación humana de producción primaria neta, cuentas nacionales de flujo de energía y materiales por medio de la economía (la economía ecológica) y los umbrales planetarios del Sistema Tierra.

Por su relevancia, actualidad y fortaleza pedagógica, el texto que sigue presenta una síntesis de este último enfoque y cómo puede contribuir a dar un contexto duro a los Objetivos de Desarrollo Sustentable de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, a fin de evitar la transgresión de procesos planetarios más allá de los umbrales de estabilidad de la biosfera.

### **Biosfera**

En 1970 la revista *Scientific American* publicó un volumen especial intitolado *The Biosphere*, desde el enfoque de la ecología funcional: análisis de cómo fluyen la energía y los materiales en la biosfera. Dos de sus artículos abordan el ciclo de la energía solar en la Tierra y cómo, parte de ella, fluye a través de la biosfera para el mantenimiento de la vida. Otros cinco artículos se refieren a los ciclos del agua, del oxígeno, del carbono, del nitrógeno, del fósforo y del azufre.<sup>1</sup> Los últimos tres artículos resultan pioneros de tres grandes problemas de nuestra época de globalización: producción humana de alimentos, producción humana de energía y producción humana de materiales, entendidos como procesos que forman parte funcional de ese gran sistema termodinámico que es la biosfera.

El término “biosfera” fue introducido por el geólogo austriaco Eduard Suess, en un texto sobre el origen de los Alpes publicado en 1875. El término se afirmó a fines de la década de 1920, cuando el mineralogista ruso Vladimir Vernadsky publicó su estudio con ese título: *Biosfera*. Vernadsky explicaba que, en realidad, el concepto provenía de la geoquímica desarrollada por Jean-Baptiste Lamarck, ya que tiene que ver con los ciclos biogeoquímicos de elementos de la tabla periódica que fluyen a través de los seres vivos.

La biosfera es, pues, el conjunto de todos los ecosistemas de la Tierra; está constituida por todos los espacios de la hidrosfera, la litosfera y la atmósfera donde la vida puede existir (espacios por donde fluyen la parte de energía solar captada por fotosíntesis o quimiosíntesis y los elementos materiales constitutivos de los seres vivos). De modo que es un esferoide bastante irregular, considerando lo más alto de la atmósfera donde pueden vivir algunas aves; lo más caliente, frío o seco donde sobreviven bacterias, y lo más profundo de los océanos donde viven invertebrados y peces. Ahora, gracias a la evolución exosomática humana, diminutas porciones de biosfera, encapsuladas en naves y estaciones orbitales, también existen en el espacio.

<sup>1</sup> Los principales elementos constituyentes de la biosfera son hidrógeno, carbono, nitrógeno y oxígeno, elementos ligeros con pesos atómicos (p.a.), respectivamente, de 1, 12, 14 y 16, pero muchos otros elementos menos ligeros, al menos hasta el zinc, con p.a. de 66, también son importantes constituyentes de los seres vivos, como, entre otros, sodio, magnesio, fósforo, azufre, cloro, potasio, calcio, manganeso, hierro, níquel y cobre, conocidos como oligoelementos. Elementos más pesados, cuando se incorporan en los ciclos de la biosfera resultan dañinos para la vida, como el mercurio (p.a. 200), el plomo (p.a. 207) y los radiactivos, como el uranio (p.a. 238).

## De Estocolmo a Estocolmo

Dos años después de *The Biosphere*, a la vista de los resultados del estudio *Los límites del crecimiento*, del grupo de investigación sobre sistemas dinámicos del MIT (Massachusetts Institute of Technology), publicado por el Club de Roma en 1972, tuvo lugar la Conferencia de Estocolmo, primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano (CNUMH), que estableció las bases de la moderna gestión ambiental. Prácticamente toda la agenda ambiental, que durante poco más de cuatro décadas ha venido desarrollándose, proviene de la Declaración de Estocolmo.

Quince años más tarde, en 1987, la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo de la ONU publicó *Nuestro futuro común*, texto en el que se configura el paradigma del desarrollo sostenible.<sup>2</sup> A 20 años de Estocolmo, en 1992, tiempos de bonanza económica mundial, tuvo lugar la gran Cumbre de Río de Janeiro, en la que se establecieron los más importantes instrumentos ambientales de gobernanza global de nuestro tiempo: la Agenda 21, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB),<sup>3</sup> la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)<sup>4</sup> y la Convención de las Naciones Unidas para el Combate contra la Desertificación (CCD).<sup>5</sup>

A 40 años de Estocolmo se llevó a cabo la Cumbre de Río+20, en junio de 2012. Esta reunión partió del reconocimiento de una conclusión ominosa: “en 2012 somos más insostenibles que en Río 1992”; a pesar de que los gobiernos del mundo continúan aceptando y adoptando líneas del discurso del desarrollo sostenible y obtienen resultados interesantes y optimistas, como es el caso de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (que sustituyen los Objetivos del Desarrollo del Milenio del año 2000).

Luego de cuatro décadas de batallas a favor de la preservación del patrimonio natural de la humanidad, ¿somos más insostenibles, no obstante todos estos esfuerzos? Infortunadamente sí, porque la economía global continúa creciendo y la cantidad de energía y materiales, que fluyen a través del sistema económico, crece exponencialmente, catapultada por patrones insustentables de consumo y producción y por un crecimiento exorbitante de la población humana mundial. Se observa una tasa de explotación de recursos terrestres que se incrementa exponencialmente. El gran sistema económico humano global crece y crece, físicamente, y cada vez necesita mayor cantidad de energía, agua y materiales para mantenerse

<sup>2</sup> “El desarrollo sostenible es un desarrollo que responde a las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de responder a las suyas. Dos conceptos son inherentes a esta noción:

- el concepto de necesidades, particularmente de necesidades esenciales de los que menos tienen, a quienes debe otorgarse la mayor prioridad, y
- la idea que las limitaciones del estado de nuestra tecnología y de nuestra organización social imponen sobre las capacidades del medio ambiente para responder a las necesidades presentes y futuras”.

<sup>3</sup> <[www.cbd.int](http://www.cbd.int)>.

<sup>4</sup> <<http://newsroom.unfccc.int/>>.

<sup>5</sup> <<http://www2.unccd.int/>>.

en funcionamiento. Ello implica más cambios de uso de suelo; más fragmentación de hábitats y pérdida de ecosistemas; más contaminación, residuos y desechos; más emisiones de gases de efecto invernadero, y más pérdida de capital natural. Por el tamaño de su población y su exceso en consumo de energía y materiales (que las cuentas económicas sólo saben expresar como PIB), más allá de la degradación ambiental, el sistema humano global constituye una fuente de entropía, creciente, en el sistema biosfera.

Pero también durante estos 40 años se abrieron y multiplicaron los espacios para el análisis, se desarrollaron instituciones para la protección ambiental, se diseñaron múltiples instrumentos de política, a diversas escalas, para hacer frente a la crisis ambiental y se constituyeron masas críticas de especialistas en la comprensión de la causalidad y la fenomenología del cambio ambiental, así como en el desarrollo de estrategias de gestión ambientalmente sustentables.

El gran reto consiste en que la inercia del sistema humano global es inmensa y el deterioro ambiental va más rápido que las capacidades para remediarlo. Los 47 años transcurridos desde la publicación de *The Biosphere* y los 45 desde *Los límites del crecimiento*, demuestran que la integración de conocimientos científicos en la formulación de políticas públicas son procesos que requieren décadas.

En este contexto, desde su creación el 1 de enero de 2007, el Centro de Resiliencia de Estocolmo (SRC),<sup>6</sup> se ha constituido como uno de los más destacados *think tanks* en sustentabilidad ambiental del mundo. Como su nombre lo indica, centra sus esfuerzos en desarrollar conocimientos y capacidades de resiliencia a escala de la biosfera. Uno de los productos más conocidos del SRC es la publicación, en 2009, de “A safe operating space for humanity”, de Johann Rockström *et al.* (*Nature* y *Ecology and Society*) en el que se analiza el grado de transgresión de umbrales planetarios de ciertos procesos básicos de la biosfera. Ante la transgresión, que implica impactos adversos a gran escala para el desarrollo humano, el SRC propone la resiliencia, entendida como conjunto de capacidades a desarrollar, a fin de posibilitar el regreso a una situación de normalidad después de sufrir los impactos adversos previsibles.

Esta forma de gestión del conocimiento científico, sobre el estado actual de degradación del medio ambiente y los preocupantes escenarios tendenciales que se avizoran, ha logrado facilitar la difusión de los principios de *The Biosphere* de 1970, mejorando la comprensión sobre las características, magnitud y alcances de la crisis ambiental global, así como promoviendo la “alfabetización” ambiental de los tomadores de decisiones y de los hacedores de políticas públicas. Este estudio ha tenido tal impacto que, además de las instituciones de las Naciones Unidas involucradas con el desarrollo y el ambiente, la misma Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) ha incorporado este enfoque en sus estudios de crecimiento verde.<sup>7</sup>

<sup>6</sup> <[www.stockholmresilience.org/](http://www.stockholmresilience.org/)>.

<sup>7</sup> OECD, 2011, *Towards Green Growth*, París, OECD.

## Las nueve grandes transgresiones planetarias

El modelo de transgresión de umbrales planetarios fue puesto al día por Will Steffen *et al.*, “Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet” (*Science*, 2015). Lo que sigue es una breve explicación del planteamiento (conocido como Umbrales Planetarios 2.0), que pone al día la explicación de 2009 sobre cuáles son los principales límites cuantitativos (materiales) y cualitativos (funcionales) que impone la biosfera al crecimiento físico de una economía globalizada.

Para empezar, el estudio reconoce la urgencia de establecer un nuevo paradigma que integre el continuo crecimiento de las sociedades humanas con el mantenimiento del Sistema Tierra (ST). El marco teórico de umbrales planetarios (UP) pretende contribuir a la configuración de tal paradigma ofreciendo un análisis, basado en los conocimientos científicos más actuales, sobre el riesgo de que las perturbaciones humanas desestabilicen el ST a escala planetaria.

**Cuadro 1.** Transgresión de umbrales planetarios

Proceso biofísico		Grado de transgresión	UP	Situación actual	
1	Integridad de la biosfera	1.1 Genética	++++	10 E/MSY	100 a 1 000 E/MSY
		1.2 Funcional	(+++)	90% BII	?
2	Ciclos biogeoquímicos	2.1 Nitrógeno (N)	N: +++++	NG: 62 Mton/y	NG: 150 Mton/y
		2.2 Fósforo (P)	P: +++++	PG: 11 Mton/y PR: 6.2 Mton/y	PG: 22 Mton/y PR: 14 Mton/y
3	Ciclo del carbono (cambio climático)	+++	350 ppm CO <sub>2</sub>	400 ppm CO <sub>2</sub>	
4	Acidificación de los océanos	++	≥ 70% ( $\Omega_{arag}$ )	84% ( $\Omega_{arag}$ )	
5	Cambio de uso de suelo y deforestación	+++	54 a 75%	62%	
6	Disponibilidad y calidad del agua	+	4 000 km <sup>3</sup> /y	2 600 km <sup>3</sup> /y	
7	Debilitamiento de la capa de ozono	+	290 DU	200 DU (Ant.)	
8	Nuevas entidades materiales	(+++)	No indicador	?	
9	Carga atmosférica de aerosoles	(+++)	AOD 0.25	(AOD 0.30)	

Las nueve transgresiones planetarias: 1] pérdida de diversidad genética y pérdida de capacidades funcionales de los ecosistemas; 2] exceso de nitrógeno y fósforo que degrada estructuras tróficas; 3] exceso de carbono en la atmósfera que induce calentamiento por intensificación del efecto invernadero; 4] acidificación de los océanos por incremento en la acidez en superficie; 5] deforestación y desertificación por cambio de uso de suelo; 6] alteración física y contaminación de los grandes cuerpos de agua del mundo; 7] reducción de la capa de ozono; 8] exceso de materiales no naturales, químicos, plásticos, residuos, y 9] exceso de aerosoles en la atmósfera que la contaminan y afectan el clima.

Los + indican, de uno a cinco, el nivel de perturbación de cada proceso crítico de la biosfera; los paréntesis indican que la información disponible, en escala global, es insuficiente.

E/MSY = extinciones por cada millón de especies por año; BII = Índice de Biodiversidad Intacta; NG = nitrógeno global; PG = fósforo global; PR = fósforo regional; Mton/y = millones de toneladas por año; ppm = concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, en partes por millón;  $\Omega_{arag}$  = potencial de disolución de CaCO<sub>3</sub> en los océanos (los porcentajes son respecto del 100% preindustrial); km<sup>3</sup>/y = kilómetros cúbicos por año; DU = unidades Dobson; AOD = profundidad óptica de aerosoles.

FUENTE: Steffen *et al.*, 2015, “Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet”, *Science*, V347.

Porque el ST se ha mantenido estable durante los últimos 12000 años, el Holoceno,<sup>8</sup> única era geológica que sepamos puede dar soporte a la civilización humana como la conocemos. Sin embargo, existe evidencia creciente de que las actividades humanas están afectando al ST a un grado tal que amenazan su resiliencia, es decir, su capacidad para persistir con las características propias del Holoceno.<sup>9</sup>

El marco teórico UP se basa en procesos críticos que regulan el funcionamiento del ST de tal modo que, aplicando el principio precautorio,<sup>10</sup> identifica niveles de perturbación antropogénica, por debajo de los cuales el riesgo de desestabilización a escala planetaria puede mantenerse bajo. Es decir, ofrece las coordenadas de un espacio operativo seguro para el sistema humano. Pero más allá de ciertos niveles de perturbación, de transgresión de los UP, el riesgo de alteración del ST es alto o muy alto. El cuadro 1 indica los nueve UP y los niveles de perturbación documentados.

### **Biodiversidad: integridad funcional y evolutiva de la biosfera**

Las modificaciones en la integridad de la biosfera consideran dos roles clave. El primero es la diversidad genética, la integridad estructural de la biosfera, su “banco de información”, que determina el potencial de los seres vivos para continuar su evolución en sinergia con el componente abiótico del ST, de la manera más resiliente posible. La diversidad genética asegura la capacidad de largo plazo de la biosfera para persistir y adaptarse a cambios abióticos graduales o abruptos. El segundo es la diversidad funcional, el rol de la biosfera en el funcionamiento cotidiano del ST, por medio de la distribución y abundancia relativa, valores y rangos, de las características funcionales de los seres vivos presentes en la diversidad de biomas,<sup>11</sup> ecosistemas y biotas.<sup>12</sup>

Para la diversidad genética (ante la falta de disponibilidad de información global sobre la variabilidad filogenética de especies, VFE),<sup>13</sup> se utiliza como varia-

<sup>8</sup> El Holoceno es la actual época geológica, que comienza con el fin de las últimas glaciaciones, hace 12000 años. Es posterior al Pleistoceno, época de los homínidos, que inició hace 2.6 millones de años; ambas épocas forman parte del periodo Cuaternario.

<sup>9</sup> Por ello se ha sugerido que la humanidad está ante el surgimiento de una nueva época geológica: el Antropoceno. Pero esta sugerencia es figurativa, no realista, porque, aunque en efecto la humanidad ha logrado dejar una amplia huella de sustancias radiactivas, metales pesados, abundantes sustancias químicas contaminantes que no existen de manera natural, plásticos y otros materiales, pérdida de biodiversidad y cambio climático, se trata de una delgada capa sedimentaria resultante de unos cuantos cientos de años; en cambio, las épocas geológicas acumulan muchísimas capas sedimentarias durante millones de años.

<sup>10</sup> Principio 15 de la Agenda 21 (CNUMAD de Río, 1992): Para la protección del ambiente, cuando existan amenazas de daños graves o irreversibles, la falta de certidumbre científica no debe ser utilizada como razón para posponer medidas que prevengan y eviten la degradación ambiental.

<sup>11</sup> Agregaciones de ecosistemas característicos de ciertas regiones: tundra; taiga (bosque norteño de coníferas); bosque templado decíduo; pradera templada; chaparral; desierto; bosque tropical lluvioso; bosque tropical decíduo; bosque tropical de malezas; pradera y sabana tropicales; alta montaña (zonación compleja).

<sup>12</sup> Flora y fauna silvestres, marinas, terrestres o acuáticas.

<sup>13</sup> La variabilidad filogenética de especies (psv = Phylogenetic Species Variability) es una variable de control más adecuada de la integridad genética de la biosfera, para la definición de umbrales

ble de control la tasa global de extinción, a partir de la cual se observa que nos encontramos en niveles de muy alto riesgo de perturbación (1.1 del cuadro 1), ya que las actuales tasas de extinción son entre 20 y 100 veces más altas (dependiendo del grupo de especies) que en condiciones naturales (sin influencia humana).

Para la diversidad funcional se han desarrollado diversos estimadores aplicables a escala local, pero no a escalas regional o global. Entonces, por ahora se utiliza un índice del grado de biodiversidad intacta (BII)<sup>14</sup> que incorpora abundancia y distribución de grupos de especies a escala de biomas y ecosistemas, considerando como línea base la situación preindustrial. Y aunque no es posible determinar con suficiente grado de certidumbre la situación global actual, se estima que nos encontramos en niveles de alto riesgo de perturbación (1.2 del cuadro 1).

### **Ciclos biogeoquímicos del nitrógeno y del fósforo**

El conocimiento de que la biosfera —y la humanidad, que forma parte de ella— es un sistema termodinámico de complejos ciclos biogeoquímicos,<sup>15</sup> constituye un concepto básico de la ecología moderna, de gran importancia porque la humanidad posee un poder creciente para perturbarlos.

Las actividades humanas influyen en ciclos biogeoquímicos de muchos elementos y existe evidencia creciente de que las proporciones entre ellos, en el ambiente, tienen impactos significativos en la biodiversidad terrestre y marina. Pero por ahora el análisis UP se centra en los ciclos del nitrógeno y del fósforo, ambos indispensables para los seres vivos, ya que el nitrógeno<sup>16</sup> forma parte de

---

de perturbación, porque la diversidad filogenética (y funcional) es más sensible a las presiones humanas que la sola diversidad de especies.

<sup>14</sup> BII = Biodiversity Intactness Index, Scholesy Biggs, *Nature*, 2005 <[www.nature.com/nature/journal/v434/n7029/abs/nature03289.html](http://www.nature.com/nature/journal/v434/n7029/abs/nature03289.html)>.

<sup>15</sup> Los elementos químicos, que forman parte esencial del protoplasma, fluyen constantemente del ambiente a los organismos y de éstos otra vez al ambiente, por vías más o menos circulares, configurando los ciclos biogeoquímicos. Como su nombre lo indica, se refieren a ciclos geológicos de algunos elementos químicos a través de las partes biótica y abiótica de la biosfera. Elementos que son indispensables para los seres vivos, como el hidrógeno (H), el oxígeno (O), el carbono (C), el nitrógeno (N), el fósforo (P), el potasio (K), el azufre (S), o el cloro (Cl), etc. Las concentraciones de algunos de ellos (H, O, Cl...), en el cuerpo de los organismos, es similar a las concentraciones en el exterior de ellos; pero en el caso de otros elementos (C, N, P...), las concentraciones son mucho mayores en el interior de los seres vivos, por lo que poseen mecanismos reguladores para mantener estas concentraciones. La disponibilidad de carbono está asegurada por la reserva atmosférica de CO<sub>2</sub>; no así el consumo del nitrógeno, pues a pesar de la enorme reserva atmosférica ésta solamente es capturable por algunos tipos de seres vivos, como bacterias y algas cianofíceas. Por su parte, la disponibilidad de fósforo es cuestión crítica para la vida, pues no existe reserva comparable a la atmosférica de carbono y nitrógeno.

<sup>16</sup> El reservorio del nitrógeno es la atmósfera y su flujo ocurre desde la parte abiótica a la biótica de la biosfera gracias a bacterias y algas cianofíceas nitrificantes, capaces de capturar el nitrógeno atmosférico y fijarlo al suelo o al agua en forma de nitratos, a partir de lo cual es utilizable por plantas verdes y fitoplancton; desde la parte biótica a la abiótica también gracias a bacterias, en este caso desnitrificantes, lo devuelven a la atmósfera.

las proteínas y del ADN, y el fósforo<sup>17</sup> interviene en el almacenaje y uso de energía. El exceso de estos dos elementos en el medio ambiente proviene sobre todo del uso intensivo de fertilizantes.

Actualmente, el uso global del nitrógeno, industrial y por fijación biológica forzada en agricultura, es 2.5 veces el UP (2.1, cuadro 1). Unas cuantas regiones agrícolas que utilizan intensivamente fertilizantes son las principales responsables de la transgresión de este umbral, lo cual sugiere que una redistribución del nitrógeno permitiría reducir el nivel de transgresión y contribuir a mejorar la productividad agrícola de regiones deficitarias. En el caso del fósforo, su uso para agricultura duplica, o poco más, los límites del UP (2.2, cuadro 1). Igualmente, unas cuantas regiones agrícolas son las principales contribuyentes de la transgresión de este umbral. El modelo UP sugiere encontrar mecanismos que posibiliten transferir este elemento desde las regiones con exceso hacia regiones pobres en fósforo, a fin de potenciar la capacidad agrícola de estas últimas.

### **Ciclo biogeoquímico del carbono**

La transgresión a este UP es el cambio climático. El uso intensivo de combustibles fósiles y la pérdida de cobertura vegetal original por cambios de uso de suelo, constituyen las dos fuentes más importantes del exceso de CO<sub>2</sub> en la atmósfera terrestre, lo cual intensifica su efecto invernadero. La atmósfera es bastante transparente a la radiación lumínica proveniente del Sol, pero relativamente opaca a la radiación infrarroja, que rebota de la superficie de la Tierra, al calentarse, y parte de esta radiación vuelve a rebotar en la atmósfera de regreso a la superficie, recalentándola; de manera similar a los vidrios de un invernadero. Así, a mayor concentración de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, mayor la opacidad, mayor el efecto invernadero y mayor la temperatura superficial promedio de la Tierra.

De la época preindustrial a la fecha, el uso de la atmósfera como sumidero de GEI ha incrementado las concentraciones en casi 43%, pasando de 280 partes por millón (ppm) a 400 ppm en 2016 (3, del cuadro 1). El UP de bajo riesgo es de 350 ppm, de modo que ya nos encontramos en zona de riesgo creciente, pero corriendo hacia zona de alto riesgo, habida cuenta de que las emisiones anuales globales de GEI continúan incrementándose y, con ello, sus concentraciones en la atmósfera (y de CO<sub>2</sub> en los océanos).

### **Acidificación de los océanos**

Este UP está estrechamente vinculado con el incremento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, a su vez correlacionadas con las concentraciones de hidrogeniones (H<sup>+</sup>) en la superficie del océano. Durante los últimos 200 años, las concentraciones de H<sup>+</sup> se incrementaron 30%, lo cual influye en la química de los

<sup>17</sup> El gran depósito del fósforo no es la atmósfera, sino minerales fosfatados cuya erosión libera fosfatos que quedan disueltos en cuerpos de agua, a partir de los cuales quedan disponibles para las plantas y demás seres vivos. Los fosfatos circulan hacia el mar, depositándose una parte en aguas someras (riberas de ríos, humedales) y perdiéndose su mayor parte en sedimentos profundos. Las aves marinas desempeñan un papel importantísimo en la devolución de fósforo del mar a la tierra.

carbonatos de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en los océanos, intensificando su disolución y disminuyendo su saturación en muchos organismos marinos, como moluscos y corales. Como variable de control se utiliza la media global de  $\Omega_{\text{arag}}$  (omega aragonita), la cual es actualmente alrededor de 84% respecto del valor preindustrial (4, del cuadro 1); el UP se ubica por debajo de 70 por ciento.

### **Cambio de uso de suelo y deforestación**

De acuerdo con la información del *Millennium Ecosystem Assessment*,<sup>18</sup> publicado en 2005, las actividades humanas habían acumulado, con datos hasta 2002, la pérdida de 53% de la cobertura vegetal original primaria terrestre. El 47% restante estaba constituido por áreas destinadas a la agricultura y la ganadería, tierras improductivas abandonadas, asentamientos humanos, parques industriales o mineros y grandes infraestructuras.

Este UP originalmente consideró como variables de control los patrones y dimensiones de los cambios de uso de suelo en cada uno de los principales biomas (bosques templados, praderas, matorrales, tundras, bosques tropicales, etc.), pero ahora se centra en la cobertura estrictamente forestal, considerando los tres biomas que tienen una función mayor en los procesos biogeofísicos que intervienen en la regulación del clima, el intercambio de energía, la disponibilidad del agua y la interfaz con la atmósfera: los bosques tropicales, templados y boreales. De tal modo, la cobertura forestal remanente es la variable de control. Globalmente, la superficie forestal actual es de 62% respecto de la original, dentro del rango de 54 a 75% del UP de riesgo medio (5, del cuadro 1).

### **Disponibilidad y calidad del agua**

La situación del uso del agua (ríos, lagos, reservorios y aguas subterráneas) es muy variable de un lugar a otro. En algunas regiones del mundo se vive una situación de estrés hídrico por falta de disponibilidad o por contaminación. La variable de control se basa en el concepto de flujo ambiental de agua (EWF), que define el nivel adecuado de flujo de los ríos (en cantidad y calidad del agua) para asegurar el mantenimiento de los ecosistemas, considerando la diversidad de características hidrológicas de las cuencas. El uso global actual ronda los 2600 kilómetros cúbicos por año ( $\text{km}^3/\text{y}$ ), un poco por debajo de los 4000  $\text{km}^3/\text{y}$  del UP en este caso (6, del cuadro 1). Situación de bajo riesgo global, pero con algunas zonas ya en alto riesgo, que coinciden con las de mayor concentración de la población humana en el mundo.

### **Debilitamiento de la capa de ozono**

Como se sabe, la capa de ozono ( $\text{O}_3$ ) u ozonosfera forma una parte de la estratosfera que contiene una concentración relativamente alta de ozono. Se extiende aproximadamente entre los 15 y los 40 km de altitud, reúne 90% del ozono presente en la atmósfera y absorbe de 97 a 99% de la radiación ultravioleta de alta frecuencia, por lo que constituye un escudo que protege a los seres vivos de esta radiación letal.

<sup>18</sup> <<http://www.millenniumassessment.org/en/index.html>>.

La capa de ozono puede debilitarse por la acción de radicales catalíticos, como el óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidroxilos (OH), cloro (Cl) y bromo (Br). Aunque existen de manera natural, sus concentraciones en la atmósfera se incrementaron por su uso industrial, particularmente de cloro y bromo, con la producción y uso de compuestos halogenados, los clorofluorocarbonos (CFC) y los bromofluorocarbonos (BFC).<sup>19</sup> Esto produjo una ruptura y debilitamiento de la capa de ozono que, gracias al Protocolo de Montreal (que erradicó y controla el uso de estas sustancias), se ha recuperado y solamente persiste en los cielos de la Antártida. La variable de control de este UP es la concentración de O<sub>3</sub> en la columna atmosférica (unidades Dobson, DU), ubicada en el valor de 275 DU; y solamente en la Antártica el UP es transgredido en las primaveras, cuando el valor cae a 200 DU (7, del cuadro 1).

### **Químicos, materiales y nuevas entidades**

Hoy día, más de 100 000 sustancias diversas se encuentran en el comercio global. Si consideramos también los nanomateriales, los polímeros que se degradan en microplásticos y las entidades orgánicas modificadas, la lista es más larga. Se observa asimismo una intensificación química debido al rápido incremento de la producción de sustancias químicas, como materias primas o en bienes de consumo, en un contexto de comercio intensivo y extensivo global. El reto para la comunidad científica es inmenso, ya que no dispone de información suficiente sobre químicos y nuevas entidades materiales que puedan tener efectos disruptivos en el ST. Se trata de un riesgo sobre lo desconocido, problemas que no advertiremos hasta que aparezcan y quizá muchos puedan resultar irreversibles. La complejidad del problema es tal que apenas nos encontramos en la etapa de reconocerlo como tal, pero carecemos de variables de control para estimar los niveles de riesgo e identificar el umbral, o los umbrales, de estas nuevas entidades materiales, no naturales y desconocidas para el ST.

Como no disponemos de una métrica para este UP (8, del cuadro 1) es indispensable aplicar el principio precautorio e iniciar acciones preventivas. Por ejemplo, la química verde (sostenible, no contaminante y termodinámicamente eficiente) e invertir en investigación científica para mejorar la comprensión del problema. La sociedad necesita aprender cómo mitigar riesgos desconocidos bajo una situación de incertidumbre.

### **Carga de aerosoles en la atmósfera**

Los aerosoles son coloides de finas partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire. Pueden ser naturales, como la niebla, la exudación forestal, el vapor de géiseres, partículas volcánicas, o pueden ser antropogénicos, como el esmog, los polvos y las micropartículas suspendidas contaminantes o el carbón negro. Los aerosoles antropogénicos tienen bien conocidos efectos adversos en la salud

<sup>19</sup> N<sub>2</sub>O, CFC y BFC también son gases de efecto invernadero, con mayor potencial de calentamiento que el CO<sub>2</sub>.

humana y producen más de 7 millones de muertes al año. También afectan el funcionamiento del ST de diversas maneras, reduciendo la incidencia de radiación solar sobre la superficie terrestre o como precursores de gases de efecto invernadero.

En el caso de este UP la atención se concentra en su efecto sobre la circulación océano-atmósfera. La variable de control es la profundidad óptica de aerosoles (AOD), con valor de referencia 0.15 y umbral ubicado en un valor de 0.25, con zona de incertidumbre entre 0.25 y 0.5, más allá del cual el UP es transgredido, que es la situación actual, pues el estimado global se sitúa en el valor 0.3 (9, del cuadro 1). Por contaminación antropogénica, o durante periodos de actividad volcánica, el valor se sitúa en 0.4 o poco más.

### **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático**

Se cree que los conocimientos sobre el cambio climático antropogénico se remontan a apenas unas décadas atrás, ya que la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) fundaron el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC)<sup>20</sup> en 1988. Pero es una historia que empezó hace mucho más tiempo. Ya en 1859 el fisicoquímico irlandés John Tyndall descubrió que algunos gases son opacos a la radiación infrarroja, por lo que cambios en su concentración en la atmósfera alteran el clima. Y en 1896, el físico y químico sueco Svante August Arrhenius publicó los primeros cálculos sobre el calentamiento superficial global que se produciría con el incremento de bióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, en la atmósfera terrestre.

El tema ha preocupado crecientemente a la opinión pública mundial y, desde 1992-1994, contamos con una Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC),<sup>21</sup> cuyo objetivo central (artículo 2) es estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, debidas a emisiones por actividades humanas, en un nivel que impida interferencias peligrosas con el sistema climático.

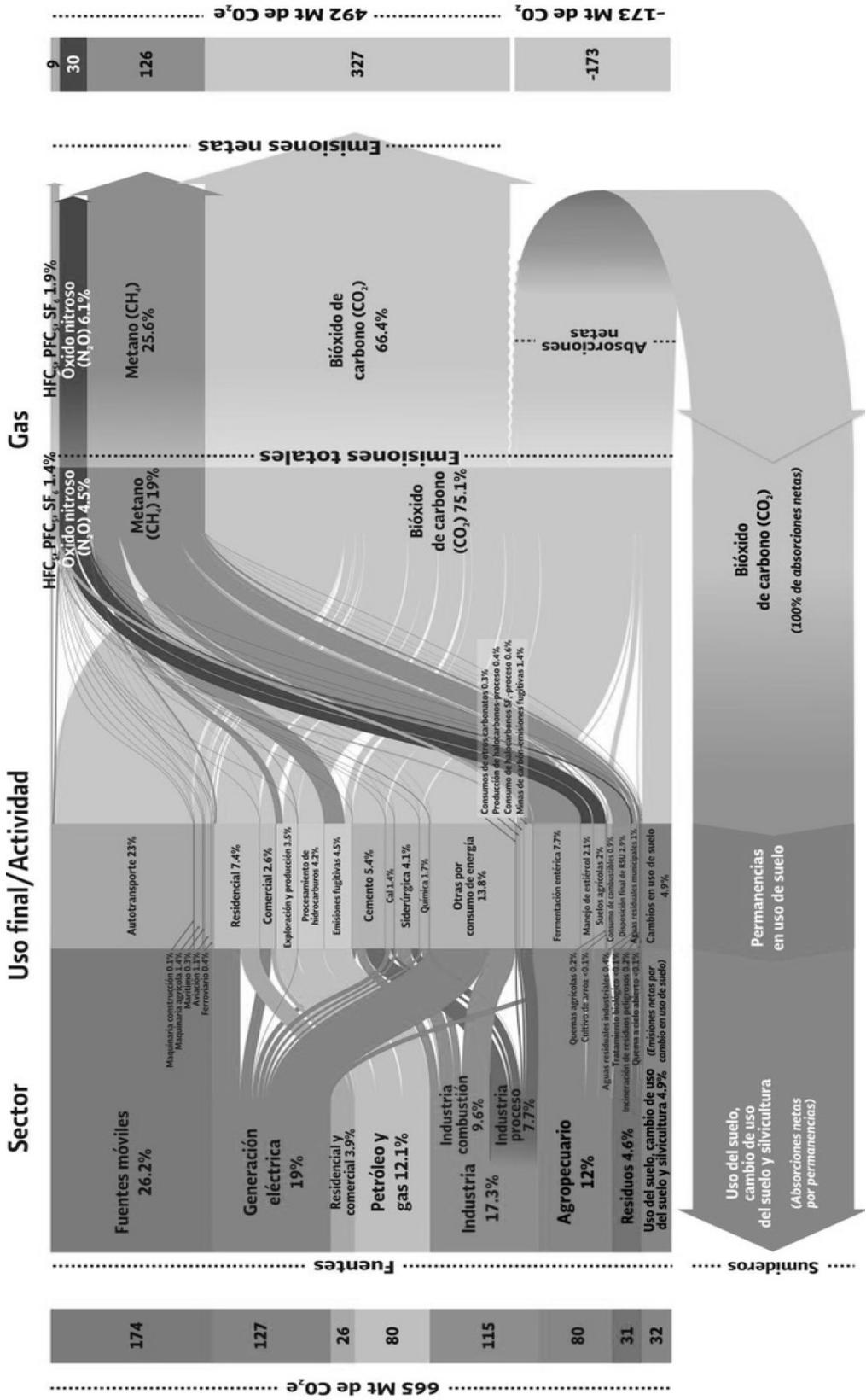
Fueron necesarias cuatro décadas de jaloneos, desde la primera CNUMAD 1972, para que, en el Acuerdo de París de diciembre 2015, todos los gobiernos de la Tierra, sin excepción, reconocieran que el calentamiento global que vivimos es causado por actividades humanas (acuerdo alterado ahora por el revisionismo del presidente Trump). Todas las actividades humanas son fuentes emisoras de GEI, con el CO<sub>2</sub> a la cabeza. Especialmente, porque hemos construido una civilización industrial fundada en el uso intensivo de combustibles fósiles como fuente primaria de energía. Gracias a este subsidio ecológico<sup>22</sup> ha sido posible sostener un crecimiento económico y poblacional vertiginoso durante el siglo XX, que se intensificó después de la segunda Guerra Mundial, cosa incomprendida por los economistas y los ingenieros agrícolas.

<sup>20</sup> <[www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)>.

<sup>21</sup> <[http://unfccc.int/essential\\_background/convention/items/6036.php](http://unfccc.int/essential_background/convention/items/6036.php)>.

<sup>22</sup> E.P. Odum, 1972, *Ecología*, México, Nueva Editorial Interamericana, p. 48.

**Figura 1.** Emisiones de México, 2013, 665.3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>eq (por fuente emisora, uso final o actividad involucrada, y por gases emitidos)



FUENTE: Semamat 2016. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2013. INECC, México.

### Fuentes emisoras de GEI

El cuadro 2 indica las categorías, definidas por el IPCC, de las principales fuentes emisoras. Con datos mundiales de 2012,<sup>23</sup> la mayor fuente emisora, 73.7%, es por generación y uso de energía (A). En esta categoría, la producción de electricidad es la mayor contribuyente, seguida del transporte. La segunda gran contribuyente, 11.3%, es la categoría de agricultura (C), por emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), derivado del uso de fertilizantes a gran escala, así como de metano (CH<sub>4</sub>), derivado de la fermentación entérica de ganado y excremento de toda clase de animales de crianza, así como del cultivo del arroz. La tercera gran contribuyente, 6%, es la categoría de procesos industriales (B), seguida muy de cerca como cuarta contribuyente mundial, 5.9%, por la categoría de uso de suelo, cambio de uso de suelo y forestería (D). Finalmente, la categoría de desechos (E), que contribuye con el 3.1% de las emisiones globales.

En el caso de México y para el año 2013,<sup>24</sup> la contribución de estas cinco categorías de fuentes emisoras, se ilustra en la figura 1. Nótese que las emisiones por procesos industriales y por desechos es significativamente superior al promedio mundial; en tanto que por generación y uso de energía es menor.

**Cuadro 2.** Categorías de fuentes emisoras establecidas por el IPCC y emisiones globales 2012

	<i>Energía (A)</i>	<i>Industria (B)</i>	<i>Agricultura (C)</i>	<i>USCUS* (D)</i>	<i>Desechos (E)</i>	<i>Total</i>
Millones ton CO <sub>2</sub> eq	35 099.149	2 839.578	5 381.510	2 783.019	1 495.288	47 598.544
Porcentaje	73.7	6.0	11.3	5.9	3.1	100

\* Uso de suelo, cambio de uso de suelo.

FUENTE: Climate Analysis Indicators Tool (CAIT), del WRI.

### Emisiones globales y principales países emisores

El artículo 4º de la CMNUCC establece que los países más desarrollados, los que primero iniciaron sus procesos de industrialización utilizando la atmósfera como vertedero de sus emisiones de GEI, quedan incluidos en el Anexo I y deben ser los primeros en emprender los esfuerzos de reducción de emisiones, a fin de cumplir el objetivo central de la Convención.

El Protocolo de Kyoto (PK) estableció los compromisos de estos esfuerzos de mitigación de los países desarrollados, los cuales (incluidos en el Anexo B del Protocolo) se comprometían a alcanzar su pico de emisiones nacionales durante los siguientes 10 años para, entre 2008 y 2012, reducirlas 5.2% por debajo de sus emisiones en 1990. Estados Unidos nunca ratificó estos compromisos. Luego, paulatinamente abandonaron el Protocolo Canadá, Australia y Nueva Zelanda; incluso

<sup>23</sup> <[www.wri.org/resources/data-sets/cait-country-greenhouse-gas-emissions-data](http://www.wri.org/resources/data-sets/cait-country-greenhouse-gas-emissions-data)>.

<sup>24</sup> <[www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero](http://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero)>.

Japón, que lo había promovido. Los únicos que han mantenido el cumplimiento de estos compromisos son los países europeos, intensificando esfuerzos por cambiar a fuentes de energía bajas o neutras en carbono.

El PK falló porque llegó en tiempos en los que la clasificación tradicional de Naciones Unidas de países desarrollados (grupo A), de economía centralmente planificada (grupo B) y en desarrollo (grupo C), había dejado de tener vigencia. Con la caída del muro de Berlín, en 1989-1990, el grupo B había dejado de existir como tal y su contracción económica implicó importantes reducciones de sus emisiones de GEI durante los años siguientes. Algunos de los países considerados en el grupo C se habían convertido en grandes economías emergentes y grandes emisores de GEI, particularmente China que, desde 2004, superó en emisiones totales a Estados Unidos. Por su parte, países del grupo A, Estados Unidos entre otros, condicionaron sus esfuerzos de mitigación a que los más importantes países emergentes contribuyeran significativamente.

**Cuadro 3.** Primeros 20 países emisores, por emisiones totales y per cápita

<i>País</i>	<i>Emisiones totales (MtCO<sub>2</sub>eq)</i>	<i>Emisiones/ cápita (tCO<sub>2</sub>eq)</i>	<i>País</i>	<i>Emisiones/ cápita (tCO<sub>2</sub>eq)</i>
<b>Mundial 2012</b>	<b>47 598.554</b>	<b>6.758</b>	<b>Mundial 2012</b>	<b>6.758</b>
1 China	10 684.287	7.910	1 Kuwait	62.289
2 Estados Unidos	5 822.870	18.552	2 Brunei	53.531
3 Unión Europea (28)	4 122.640	8.223	3 Belice	45.033
4 Unión Europea (15)	3 354.177	8.393	4 Qatar	41.577
5 India	2 887.084	2.335	5 Guinea Ecuatorial	35.557
6 Federación Rusa	2 254.473	15.746	6 Omán	32.987
7 Indonesia	1 981.003	8.025	7 Trinidad y Tobago	30.209
8 Brasil	1 823.148	9.177	8 Australia	30.141
9 Japón	1 207.300	9.464	9 Bahreín	25.232
10 Canadá	856.278	24.640	10 Canadá	24.640
11 Alemania	810.250	10.074	11 Emiratos Árabes Unidos	23.468
12 México	748.912	6.197	12 Estonia	22.572
13 Irán	711.881	9.315	13 Libia	21.221
14 Australia	685.053	30.141	14 Mongolia	21.139
15 Corea del Sur	661.390	13.227	15 Luxemburgo	21.046
16 Reino Unido	550.664	8.645	16 Turkmenistán	20.940
17 Arabia Saudita	526.967	18.629	17 Arabia Saudita	18.629
18 Nigeria	474.856	2.813	18 Estados Unidos	18.552
19 Sudáfrica	463.751	8.860	19 Granada	18.433
20 Malasia	433.334	14.820	20 Kazakstán	17.354

MtCO<sub>2</sub>eq = millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (incluye CO<sub>2</sub> y los demás GEI).

FUENTE: <[www.wri.org/resources/data-sets/cait-country-greenhouse-gas-emissions-data](http://www.wri.org/resources/data-sets/cait-country-greenhouse-gas-emissions-data)>.

Luego de la CoP 15 (decimoquinta Conferencia de las Partes), en Copenhague (2009), y de la CoP 16, en Cancún (2010), había quedado claro que el acuerdo global posible para mitigar el cambio climático tendría que involucrar tanto a los países más desarrollados como a las economías emergentes, de acuerdo con el alcance de sus emisiones de GEI. Y si hasta el PK se tomaban en cuenta solamente las emisiones nacionales totales en la ecuación, a partir de Copenhague y Cancún quedó claro que las emisiones per cápita ponderarían las exigencias de mitigación.<sup>25</sup>

China, Estados Unidos y la Unión Europea (de 28 países) generan más de 43% de las emisiones globales, pero solamente el segundo se encuentra entre los primeros 20 emisores per cápita, con poco más de 18.5 toneladas por persona por año (tpa), en tanto que el primero emite 7.9 tpa y la tercera 8.2 tpa, ambas por encima de la media mundial de 6.8 tpa. México solamente contribuye con 1.6% de las emisiones globales, pero forma parte de los primeros 20 por emisiones nacionales, aunque se mantiene por debajo del promedio mundial de emisiones per cápita (cuadro 3).

### **Aspiraciones, instrumentos y limitaciones del Acuerdo de París**

El Acuerdo de París logró comprometer a las 193 Partes de la CMNUCC porque, a diferencia del PK, no pretende imponer desde lo internacional límites a las emisiones de los países, sino que invita a que cada país indique, desde lo nacional, lo que determine reducir. Se trata de las “Contribuciones Previstas Nacionalmente Determinadas” (CPND o INDC) y constituye sin lugar a dudas un éxito diplomático sin precedentes. Todos los países de la Tierra reconocen la existencia del cambio climático antropogénico y manifiestan explícitamente su aspiración de hacer todo lo posible para evitar que la temperatura superficial promedio del planeta se eleve más allá de 2°C, lo que implica evitar que las concentraciones de GEI en la atmósfera superen las 450 ppm.

En tanto que las concentraciones preindustriales de CO<sub>2</sub> nunca superaron la cota de las 280 ppm (al menos durante los últimos 1.3 millones de años), desde 2016 estas concentraciones alcanzaron 400 ppm. Del periodo preindustrial a la fecha, la temperatura superficial promedio se ha incrementado 0.8°C; es decir, queda un margen de solamente 1.2°C para cumplir con la aspiración del Acuerdo de París.

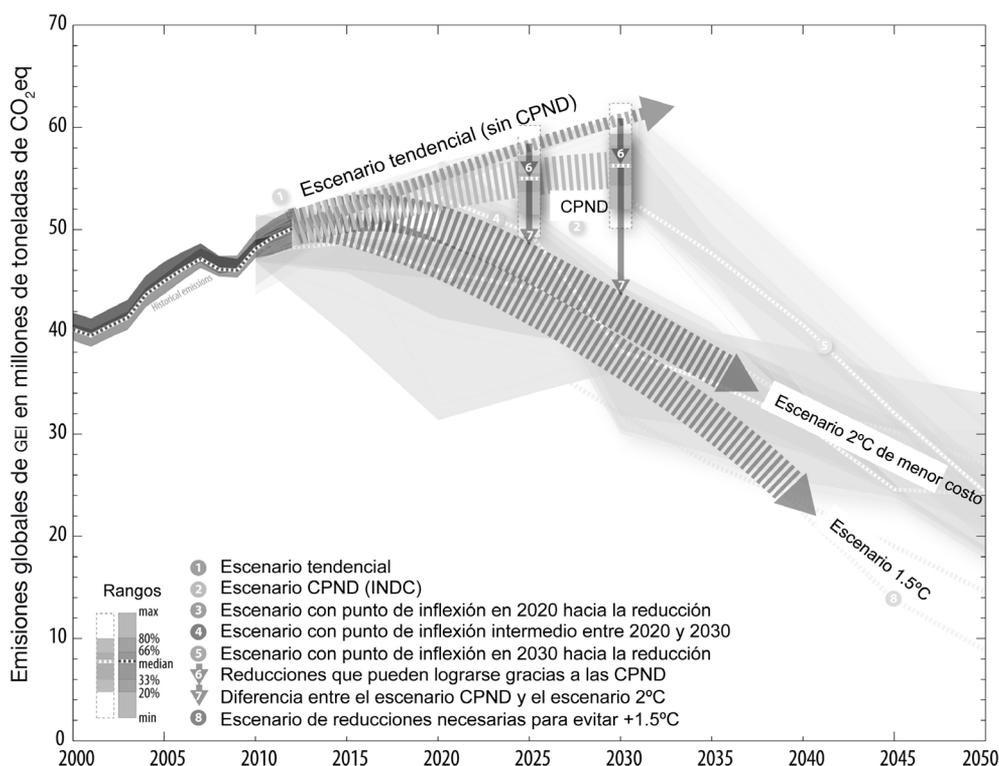
189 países-Parte de la CMNUCC han entregado sus CPND.<sup>26</sup> Sin embargo, las contribuciones de mitigación suman apenas 25% de lo necesario para evitar los +2°C y menos de 20% para +1.5°C (figura 2). Es decir, entre las buenas intenciones aspiracionales del Acuerdo de París y los esfuerzos reales de los países del mundo hay una distancia que mantiene la ruta hacia los +3.5°C, por lo menos.

Es de especial importancia que los tomadores de decisiones reconozcan la gravedad de la situación relativa al presupuesto de carbono. A partir de la Revolución industrial la economía global ha vertido poco más de 2 billones de toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (IPCC AR5). Considerados todos los GEI, durante el decenio 2005-2014 las emisiones promediaron 40 000 millones de toneladas (mMt). Año

<sup>25</sup> Opción propuesta, en 1998, por la Delegación de México ante la OCDE, en el marco de negociaciones del Consejo de Ministros Ambientales de la OCDE, ante la presión de muchos países europeos porque México se integrara al Anexo I de la CMNUCC.

<sup>26</sup> <[http://unfccc.int/focus/indc\\_portal/items/9240.php](http://unfccc.int/focus/indc_portal/items/9240.php)>.

**Figura 2.** Escenarios de mitigación sin políticas correctivas, con INDC y deseables para evitar +2° y +1.5°C.



FUENTE: IPCC, base de datos de los escenarios para el Quinto Reporte de Evaluación, base de datos histórica de emisiones y cuantificación de las CPND <<http://unfccc.int/resource/docs/2016/cop22/eng/02.pdf>>.

con año las emisiones continúan incrementándose. En 2014 alcanzaron 44 mMt. (Le Quére *et al.*, *Earth Syst. Sci. Data*, 2014). Considerando sólo las emisiones de CO<sub>2</sub>, 1.6 billones de toneladas más bastan para rebasar 450 ppm, límite de los +2°C (Rogelj *et al.*, *Nature Climate Change*, marzo de 2016), es decir, 32 años más de emisiones al ritmo que indica el escenario tendencial. Pero consideradas las emisiones de todos los GEI, el límite es de 1.2 billones más de toneladas para evitar +2°C (Rogelj, *op. cit.*), sólo 24 años al ritmo actual de crecimiento actual de las emisiones. En ambos casos, una vez agotado el presupuesto de carbono (1.2 billones a emitir), no podríamos emitir ni una tonelada más para evitar superar los +2°C.

## Convenio (de las Naciones Unidas) sobre la Diversidad Biológica

### Valor intrínseco de la biodiversidad

Los recursos biológicos son indispensables para la supervivencia y el desarrollo humanos. Además de una pequeña porción de minerales, nuestros alimentos de todos los días provienen de la biodiversidad, la mayor parte de especies domesticadas por el *Homo sapiens* durante los últimos 10000 años. De hecho, nosotros

somos la única especie superviviente del género *Homo*, de entre las decenas que existieron en el pasado. En el presente formamos parte de las especies que, como nosotros, no se han extinguido hasta la fecha y, en la red de redes de la vida, todas las especies dependemos de todas para sobrevivir en el planeta. Sin embargo, las actividades humanas han incrementado la tasa de extinción de especies a niveles comparables a las otras cinco grandes extinciones en la historia de la Tierra.<sup>27</sup>

Los naturalistas estudian la diversidad de la vida desde hace siglos, particularmente la diversidad de especies, para las cuales los evolucionistas y ecólogos han desarrollado métricas de índices de diversidad. La biogeografía y la ecología contribuyeron a que el concepto considerara también la diversidad de ecosistemas y, más recientemente, la genética moderna incorporó el nivel de la diversidad de genes, entre especies y dentro de las especies. Así, la comunidad científica hizo rápidamente suyo el término de biodiversidad, cuando apareció por primera vez intitulando el National Forum on BioDiversity, convocado por Walter G. Rosen en 1986.

### *Valor funcional y presiones sobre la biodiversidad*

El *Millennium Ecosystem Assessment* presenta claramente el marco conceptual relativo al valor funcional de la biodiversidad: los servicios que los ecosistemas prestan a la economía y el bienestar humanos: de soporte, de regulación, de producción de alimentos, materias primas, amenidades y paisajes culturales, entre otros.

La pérdida de biodiversidad por fragmentación de ecosistemas y destrucción de hábitats se debe, sobre todo, al cambio de uso de suelo y diversas formas de contaminación. Prácticamente todos los UP del ST contribuyen en la degradación y pérdida de biodiversidad (cuadro 1): la modificación humana de balances en ciclos biogeoquímicos, que afectan redes tróficas y dinámicas de poblaciones silvestres; el cambio climático, que modifica patrones de distribución, de supervivencia y de reproducción; la acidificación de los océanos, que provoca debilitamiento de las bases de las pirámides tróficas marinas; el cambio de uso de suelo, que fragmenta ecosistemas y ocasiona pérdida de hábitats; la modificación de caudales para uso humano, que pone bajo estrés hídrico a muchos ecosistemas; el debilitamiento de la capa de ozono, que incrementa la exposición a la radiación ultravioleta y provoca efectos adversos en el metabolismo y la reproducción de los seres vivos; la contaminación química y por nuevas entidades materiales, que perturba funciones orgánicas e incrementa tasas de extinción; y la carga atmosférica de aerosoles, que contamina ecosistemas y perturba la dinámica meteorológica.

### *Objetivos e instrumentos del CDB*

En noviembre 1988, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) inició los trabajos que condujeron al acuerdo multilateral llamado Conve-

<sup>27</sup> El registro fósil muestra: primera extinción, Ordovícico-Silúrico, hace 439 millones de años (Ma); segunda, Devónico, 364 Ma; tercera, Pérmico-Triásico, 251 Ma; cuarta final del Triásico, 199 a 244 Ma, y quinta, Cretácico-Terciario, 65 Ma. El fin y el inicio de estos periodos geológicos están marcados por extinciones. <[www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/extinciones.html](http://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/extinciones.html)>.

nio sobre la Diversidad Biológica<sup>28</sup> (CDB) en la CNUMAD de Río 1992, cuyo objetivo central (artículo 1) consiste en la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa de los beneficios que deriven de la utilización de los recursos genéticos. El CDB entró en vigor el 29 de diciembre 1993.

En el marco del CDB se han establecido dos Protocolos: el de Cartagena (CDB-PC,<sup>29</sup> 2003), sobre bioseguridad, para asegurar el manejo, transporte y uso seguros de organismos genéticamente modificados (OGM); y el de Nagoya (CDB-PN,<sup>30</sup> 2014), sobre los derechos de acceso a los recursos genéticos y la participación justa y equitativa de los beneficios derivados de su utilización. Recientemente se estableció el Plan Estratégico 2011-2020 que, con base en una visión compartida, una misión, objetivos estratégicos y las 20 ambiciosas Metas de Aichi,<sup>31</sup> establece un marco de referencia para la definición de objetivos nacionales y regionales que conduzcan a que en 2050 la biodiversidad se valore, conserve, restaure y utilice en forma racional, manteniendo los servicios de los ecosistemas, para sostener un planeta sano que brinde los beneficios esenciales para todos.

La última Conferencia de las Partes (CoP 13)<sup>32</sup> tuvo lugar en Cancún. Con el liderazgo de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), México promovió abandonar el aislamiento de los ministerios ambientales como únicos participantes en estas reuniones, invitando a los ministerios a cargo de agricultura, pesca, forestería y turismo. Estrategia apropiada que obligó a que estos sectores de gobierno expresaran intenciones y compromisos para la protección y el uso sustentable de la biodiversidad, desde su perspectiva sectorial. El nuevo esquema resultó tan exitoso que diversos países promueven ya la invitación a los ministerios involucrados en energía, minería y transportes, para que participen en la CoP 14 (a celebrarse en Egipto en 2018).

La Conabio<sup>33</sup> es una institución ejemplar, reconocida en el ámbito internacional; con el soporte de esta capacidad institucional, México formuló una nueva Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México y el Plan de Acción 2016-2020<sup>34</sup> (ENBioMéx), que fue presentada en la CoP 13. La ENBioMéx constituye un instrumento articulador para el conocimiento de la biodiversidad, su conservación y restauración, uso y manejo sustentable, mitigación y control de los factores de presión, educación, cultura ambiental, participación social y gobernanza. Con base en ella, en 2030 México deberá haber logrado mantener la biodiversidad y la funcionalidad de sus ecosistemas, así como la provisión continua de los servicios ecosistémicos necesarios para el desarrollo de la vida y el bienestar de los mexicanos; además, gobierno y sociedad estarán comprometidos y coordinados en la

<sup>28</sup> <<https://www.cbd.int/convention/text/default.shtml>>.

<sup>29</sup> <<http://bcb.cbd.int/protocol>>.

<sup>30</sup> <<https://www.cbd.int/abs/>>.

<sup>31</sup> <<https://www.cbd.int/sp/targets/>>.

<sup>32</sup> <<http://cop13.mx/>>.

<sup>33</sup> <<https://www.gob.mx/conabio>>.

<sup>34</sup> <[https://ceiba.org.mx/publicaciones/CBD/2016\\_ENBIOMEX\\_gobmx.pdf](https://ceiba.org.mx/publicaciones/CBD/2016_ENBIOMEX_gobmx.pdf)>.

conservación, uso sustentable y distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la biodiversidad (al nivel de ecosistemas, especies y genes).

### Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible<sup>35</sup> (ODS) de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible<sup>36</sup> —aprobada en septiembre de 2015— entraron en vigor oficialmente el 1 de enero de 2016. Aunque no son jurídicamente obligatorios, los países se comprometen a intensificar esfuerzos durante los próximos 15 años con el propósito de poner fin a la pobreza en todas sus formas, reducir la desigualdad, mitigar el cambio climático, proteger y utilizar de manera sustentable la biodiversidad y asegurar el bienestar para todos los seres humanos.

La Agenda 2030 reconoce que sus ODS son transversales, por lo que establecen múltiples sinergias entre sí. Por ejemplo, el ODS 2, Hambre cero, no puede lograrse sin una apropiada coordinación con disponibilidad de Energía asequible y no contaminante (ODS 7), de Agua limpia y saneamiento (ODS 6) y de Vida de ecosistemas terrestres (ODS 15) y Vida submarina (ODS 14), cuya integridad funcional esté asegurada. Otro ejemplo: ¿cómo lograr el ODS 11, Ciudades y comunidades sostenibles, o el ODS 12, Producción y consumo responsables, sin asegurar el cumplimiento de prácticamente todos los demás ODS?

#### Agrupamientos temáticos de los ODS

Pueden distinguirse énfasis temáticos diversos en los 17 ODS, que tienen que ver con la sustentabilidad social, la económica, la ambiental, y la participación social y la gobernanza (cuadro 4). Aunque la característica transversal de algunos es tal

**Cuadro 4.** Agrupamientos de ODS según énfasis temáticos

<i>Social</i>	1 FIN DE LA POBREZA	2 HAMBRE CERO	3 SALUD Y BIENESTAR	4 EDUCACIÓN DE CALIDAD	5 IGUALDAD DE GÉNERO	8 TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO	10 REDUCCIÓN DE LAS DESIGUALDADES
<i>Económico</i>	6 AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO	7 ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE	8 TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO	9 INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA	11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES	12 PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES	
<i>Ambiental</i>	6 AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO	7 ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE	11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES	12 PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES	13 ACCIÓN POR EL CLIMA	14 VIDA SUBMARINA	15 VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES
<i>Gobernanza</i>	11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES	12 PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES	16 PAZ, JUSTICIA E INSTITUCIONES SÓLIDAS	17 ALIANZAS PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS			

<sup>35</sup> <<http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>>.

<sup>36</sup> <<http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/RES/70/1>>.

que, al menos en el caso de los ODS 6 (agua), 7 (energía), 8 (empleo), 11 (ciudades) y 12 (consumo y producción), claramente presentan dos o más énfasis.

### *ODS con énfasis ambiental*

Por lo que toca a los ODS con énfasis en la sustentabilidad ambiental, el ODS 6, agua, requiere asegurar la integridad de los ecosistemas fuente (ODS 15), contar con infraestructura adecuada (ODS 9) y asegurar disponibilidad de energía (ODS 7). Este último requiere innovación e industria baja en carbono (ODS 9) y patrones de producción y consumo sostenibles (ODS 12).

El ODS 13<sup>37</sup> —Acción por el clima, transversal por excelencia, incide en la mayor parte de los demás ODS. Con el ODS 2, alimentación, que a su vez depende de los ODS 6, agua, 7, energía y 15, ecosistemas, ya que el calentamiento global amenaza la seguridad alimentaria por erosión de tierras y reducción en la disponibilidad de agua (servicios ecosistémicos), al tiempo que depende de la seguridad energética. Concomitantemente, este ODS 13 presenta un cruce transversal relevante con los ODS 9 y 12, pues la mitigación de emisiones depende de las capacidades de innovación tecnológica y desarrollo industrial bajo en carbono, así como de modificar los patrones dominantes insostenibles de producción y consumo. El ODS 13 reconoce explícitamente que la CMNUCC y el Acuerdo de París constituyen el foro intergubernamental internacional para negociar la respuesta mundial, por lo que el alcance de sus planteamientos es relativamente limitado, si se compara con el grado de precisión de otros ODS.

Los ODS 14 y 15 son los más directamente relacionados con la biodiversidad; se complementan con el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020, del CDB, y sus Metas de Aichi.<sup>38</sup>

El ODS 15<sup>39</sup> —Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad— plantea 12 metas orientadas a conservar, restablecer y utilizar de manera sostenible los ecosistemas terrestres y humedales, para asegurar que continúen proporcionando servicios ambientales para la economía y el bienestar humano. Prevé que para 2020 estará plenamente establecida la gestión sostenible de bosques y para 2030 la lucha contra la desertificación y pérdida de suelos. Considera prioritario, para 2020, reducir la degradación de hábitats naturales y la fragmentación de ecosistemas, poner fin a la caza furtiva y al tráfico de especies protegidas, así como prevenir y reducir las invasiones de especies exóticas. Confirma que los beneficios derivados del uso de recursos genéticos deben distribuirse de manera justa y equitativa. Enfatiza el acrecentamiento de recursos financieros para la conservación de la biodiversidad y compromete a que, en 2020, los valores de los ecosistemas y de la biodiversidad se habrán integrado en la planificación nacional y local.

El ODS 14<sup>40</sup> —Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible— plantea 10 metas destinadas a

<sup>37</sup> <<http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>>.

<sup>38</sup> <<https://www.cbd.int/sp/>> y <<https://www.cbd.int/sp/targets>>.

<sup>39</sup> <<http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/>>.

<sup>40</sup> <<http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/oceans/>>.

mejorar la conservación y el uso sostenible de los océanos y sus recursos, de tal modo que para 2025 se haya reducido drásticamente la contaminación marina (particularmente de nuevas entidades materiales, nitrógeno y fósforo). Plantea que para 2020 deberá haberse establecido la gestión sostenible de los ecosistemas marinos y costeros y frenado la acidificación de los océanos, existirá una reglamentación que ponga fin a la pesca excesiva e ilegal, estarán prohibidos los subsidios que fomentan la sobreexplotación pesquera y al menos 10% de la superficie marina y costera se encontrará bajo régimen de áreas protegidas para la conservación.

### **Retos para cumplir los compromisos internacionales ambientales**

El conocimiento científico sobre las causas y procesos del cambio ambiental global se ha desarrollado de manera muy importante durante las últimas décadas, no sólo en el contexto internacional, sino también en el nacional; muchos investigadores mexicanos participan destacadamente en los grupos expertos de los principales instrumentos internacionales de Naciones Unidas. Sin embargo, para cumplir los ODS, México enfrenta grandes retos culturales, políticos, económicos y tecnológicos.

#### *Retos culturales*

En el aspecto cultural, si bien existe un reconocimiento público generalizado de que el fenómeno de la degradación ambiental (particularmente el cambio climático) y sus consecuencias son producidas por causas humanas, la disponibilidad de información accesible y digerible para el ciudadano común es muy limitada. Por su parte, y salvo honrosas excepciones, los tomadores de decisiones poseen una cultura climática y ambiental muy pobre o inexistente. Los centros de educación superior e investigación no han logrado integrar en sus planes de estudio la dimensión ambiental, y menos las escuelas de pensamiento que lideran actualmente el desarrollo de estos conocimientos, en especial la escuela de resiliencia y de transgresión de umbrales planetarios. Tampoco integran en esos planes consideraciones de cómo su ejercicio profesional contribuye a mantener y acrecentar la crisis ambiental. Masivamente, los profesionistas continúan construyendo un mundo que emplea procesos altos en carbono y produce contaminantes destructivos de hábitats naturales y degradantes de ecosistemas, y pierden de vista la urgencia de que sus conocimientos se dirijan a mitigar los impactos adversos previsibles, así como a adaptarse a ellos.

Se requiere, pues, una estrategia nacional de educación —formal y no formal— ambiental y climática, fundada en el reconocimiento de los servicios ecosistémicos, con particular énfasis en campañas de información, sensibilización y oferta de alternativas aplicables, a escala ciudadana, a fin de modificar patrones dominantes de consumo y producción que son insostenibles.

#### *Retos políticos*

Los tomadores de decisiones públicas y corporativas son particularmente impermeables a las preocupaciones estratégicas que suscita el cambio ambiental global. Los intereses propios del fomento productivo y del enriquecimiento —no siempre

lícito— dominan la escena de las decisiones gubernamentales y privadas. Prevalce un desprecio de los criterios y principios de la sustentabilidad ambiental del desarrollo, que no se integran cabalmente en las políticas sectoriales.

No obstante, México cuenta ya con instrumentos institucionales y legislativos que ofrecen una adecuada plataforma para desarrollar políticas públicas de mitigación y adaptación en la dirección correcta. Por ley, el Plan Nacional de Desarrollo debe ser sustentable y casi todas las políticas sectoriales incorporan, bien que mal, la terminología del desarrollo sustentable en sus líneas de discurso. Infortunadamente, la incorporación en el discurso no se ha convertido en modificaciones reales a los patrones dominantes de consumo y producción. Por su parte, los partidos políticos muestran un analfabetismo generalizado en relación con la biodiversidad, el cambio climático y la sustentabilidad del desarrollo. Se requiere, pues, que las organizaciones de la sociedad civil, las academias y los centros de investigación fortalezcan sus capacidades de incidencia en las diversas etapas de los ciclos de las políticas públicas, particularmente en su formulación y en su ejecución.

Es verdad que la contribución de México a las emisiones globales es relativamente pequeña —1.6% del total—, pero ello nos ubica en el duodécimo lugar entre los 20 países mayores emisores del mundo (cuadro 3). Además, México es particularmente vulnerable a los impactos adversos previsibles del calentamiento global, por lo que debe concentrar esfuerzos en desarrollar sus capacidades de adaptación estratégica. No queda claro cómo se logrará la meta de las Contribuciones Previstas Nacionalmente Determinadas para que al menos 50% de los municipios más vulnerables del país sean resilientes, o cómo se logrará la tasa cero de deforestación (considerando vegetación original primaria). Ante esta situación, urge que el Ejecutivo federal realice —por fin— el Atlas Nacional de Vulnerabilidad y Adaptación ante el cambio climático e inicie políticas sectoriales de adaptación de mediano y largo plazos. Además, debe aprovecharse la coyuntura (como lo han hecho los europeos) para ir cambiando hacia fuentes renovables de energía, en especial la solar para la generación de electricidad, cuyos precios actuales por kilovatio/hora ya son competitivos frente a termoeléctricas de combustibles fósiles. Constituye un error histórico que la política gubernamental considere las tecnologías de ciclo combinado, con base en gas natural (metano), como la opción casi única para la transición energética, dejando de lado un desarrollo decidido y vigoroso de las tecnologías basadas en fuentes renovables de energía.

En materia de biodiversidad y servicios de los ecosistemas, el analfabetismo es mayor, a pesar de los extraordinarios esfuerzos y logros de la Conabio, que no solamente ha reunido uno de los acervos taxonómicos más ricos del planeta sino que es una institución con capacidades para formular políticas públicas y generar sinergias intersectoriales. La Estrategia Nacional de México sobre Biodiversidad y el Plan de Acción 2016-2030 es clara muestra de ello; contiene la información y los lineamientos estratégicos para que México pueda avanzar en la senda de la conservación de su rica biodiversidad, sin la cual no hay posibilidad de desarrollo.

Una adecuada gestión del conocimiento resulta indispensable para avanzar en la dirección correcta en materia de transición energética y manejo sustentable

de ecosistemas, así como una alfabetización básica a los líderes del sector privado y a los gobernantes, para que comprendan por qué es buen negocio adoptar procesos tecnológicos bajos en carbono fundados en fuentes renovables de energía, así como conservar y restaurar ecosistemas para asegurar la continuidad de sus servicios ambientales.

### *Retos tecnológicos*

En sus CPND, México se compromete a reducir incondicionalmente 25% de sus emisiones de GEI en el año 2030, respecto de su escenario tendencial de crecimiento de emisiones. Esto supone que el pico de emisiones tendría lugar en 2026 y que éstas se desacoplarán del crecimiento económico, por lo que la intensidad de emisiones por unidad de PIB deberá reducirse en alrededor de 40% entre 2013 y 2030. Este compromiso incondicional de reducción de emisiones podrá pasar de 25 a 40%, a condición de que los acuerdos globales incluyan un adecuado precio internacional del carbono, ajustes a aranceles por contenido de carbono, cooperación técnica, acceso a recursos financieros de bajo costo y a transferencia de tecnologías bajas en carbono. Sin embargo, la tradicional ausencia de inversión privada en investigación y desarrollo constituye una inmensa barrera para adoptar, adaptar y desarrollar tecnologías bajas en carbono, particularmente para la generación de electricidad y para el transporte (sector para el que el combustible del futuro es el hidrógeno).

¿Por qué, por ejemplo, no se introducen en México las tecnologías de concentración termosolar para generar electricidad?, tecnologías que dejaron de ser prototipos y ya se encuentran en mercados internacionales. España, Portugal e Italia ya iniciaron su explotación; incluso en Estados Unidos, durante el gobierno de Barack Obama, se instalaron tres grandes centrales termosolares en Nuevo México, cada una con capacidad para abastecer a medio millón de usuarios residenciales. Actualmente, los precios por kilovatio/hora generado son competitivos, o incluso menores, que mediante combustibles fósiles.

En realidad, prácticamente toda la energía disponible en la Tierra proviene del Sol, excepto la radiactividad y, en cierto sentido, la geotérmica. Pero la eólica es resultado de corrientes que resultan del movimiento de grandes masas de aire por diferencial térmico, más gravedad; la hidráulica es vapor de agua que se transforma en lluvia y adquiere energía potencial con gravedad. La mareomotriz es resultado de diferenciales térmicos en océanos, más gravedad Tierra-Luna. En fin, incluso los hidrocarburos provienen de la energía solar, pues son biomasa (fotosíntesis) fosilizada por procesos geológicos (gravedad y tectónica) durante millones de años. Por ello la gran oportunidad para aprovechar, en territorio mexicano, la energía termosolar,<sup>41</sup> sin olvidar el desarrollo de tecnologías para acumular energía, sobre lo cual siempre se piensa en baterías —porque nos mantenemos presos de patrones tecnológicos industriales tradicionales—, pero hay que pensar

<sup>41</sup> El Instituto de Energías Renovables de la UNAM y la Universidad de Sonora tienen calculado que un área cuadrada de 40 km por lado, con tecnología concentradora de energía termosolar, bastaría para satisfacer toda la demanda nacional. Contamos con especialistas y capacidades científicas instaladas para producir tecnología termosolar nacional.

en la gravedad y la biomasa, por ejemplo, como medios universales para almacenar energía aprovechable.

Que toda la energía provenga del Sol parece una frase gastada, pero en el caso de la biodiversidad, el aprovechamiento de recursos forestales, pesqueros y agrícolas, ningún tomador de decisiones parece darse cuenta de que la pérdida de más de la mitad de la cobertura vegetal primaria original terrestre (*Millennium Ecosystem Assessment*), así como la pérdida de alrededor de 40% de la biomasa de fitoplancton marino y el agotamiento de las grandes pesquerías, generan un inmenso estrés en la base de la pirámide trófica planetaria que sostiene toda la vida en la Tierra, incluidos nosotros, *Homo sapiens* (*¿sapiens?*). Es indispensable entonces recuperar superficie planetaria de fotosíntesis y desarrollar patrones de aprovechamiento y tecnologías agrícolas, pecuarias, pesqueras y forestales que se ajusten a las capacidades de renovación de biomasa de los recursos biológicos.

En relación con el transporte, los automotores híbridos y eléctricos constituyen una opción adecuada a los tradicionales de gasolina y diésel, siempre y cuando se tenga claro que se trata de una opción para la transición. La opción estratégica es el uso del hidrógeno como combustible limpio, pues la combustión del hidrógeno da lugar a agua ( $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ ). Esta tecnología todavía se encuentra en fase de prototipos y no ha entrado a mercados (como ya lo hicieron las tecnologías de concentradores termosolares para generación de electricidad), pero su introducción se observa en el horizonte de la década 2040. Alemania acaba de adquirir 14 trenes, de la compañía francesa Alstom, para introducir, en diciembre de 2017, el primer tren de pasajeros (Coradia iLint), con capacidad para salvar distancias de 600 a 800 kilómetros, con base en células de hidrógeno como combustible. La compañía obtendrá el combustible de plantas de sustancias químicas que producen el hidrógeno como residuo. ¿Por qué no promover y fomentar vínculos científicos, tecnológicos y de mercado con esta compañía francesa y aprovechar la experiencia alemana?

### *Retos económicos*

Uno de los compromisos del Acuerdo de París consiste en que los países desarrollados movilicen anualmente, a más tardar en 2020, 100 000 millones de dólares hacia las economías en desarrollo y las menos desarrolladas. Pero los costos de la transición hacia economías bajas en carbono son cientos de veces mayores.<sup>42</sup> Se miden en billones (millones de millones) de dólares, lo que no es posible financiar con fondos públicos (fiscales). Para cumplir los objetivos del Acuerdo de París se estima necesario invertir alrededor de 90 billones de dólares en fuentes alternas de energía, actividades agrícolas e infraestructuras. Es decir, ¡900 veces la suma anual prevista para el año 2020!

Esto sólo será posible si el capital privado se involucra en serio, para lo cual es indispensable conectar el sistema financiero mundial con los requerimientos de la acción climática, la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sosten-

<sup>42</sup> A. Carstens y P. Espinoza, "El Acuerdo de París entrará pronto en vigor, es hora de que el dinero empiece a moverse", *El Universal*, 1 de octubre de 2016 (Opinión).

table, particularmente en la eliminación de subsidios a combustibles fósiles. Esto es potencialmente posible porque bancos, mercados de valores e inversionistas institucionales cuentan con alrededor de 300 billones de dólares en activos,<sup>43</sup> por lo que el problema de fondo es de distribución, más que de insuficiencia financiera. El sistema financiero necesita evolucionar para evaluar los riesgos medioambientales por impactos adversos del cambio climático y por pérdida de biodiversidad.

Algunos ministros de economía y gobernadores de bancos centrales han empezado a involucrarse. En la última reunión del G20<sup>44</sup> se acordaron medidas para amplificar inversiones verdes. Surge un mercado de bonos verdes en el cual empresas y municipios pueden obtener fondos para inversiones prioritarias, como fuentes renovables de energía, construcciones eficientes y gestión sustentable del agua. Nacional Financiera ya emitió un primer bono verde, por 500 millones de dólares, para el aprovechamiento de energía eólica en Oaxaca, Nuevo León y Baja California.

### **Conclusiones**

El modelo UP (umbrales planetarios) surge de la evidencia científica de que la Tierra es un solo y complejo sistema, el ST (Sistema Tierra), en el cual la biosfera constituye la interfaz biofísica. Aunque un análisis cuantitativo de las interacciones de los nueve procesos planetarios se encuentra fuera del alcance de las actuales capacidades de modelación, la evidencia muestra que el ST opera dentro de márgenes bien definidos (los UP), por lo que las interacciones de estos procesos pueden presentar retroalimentaciones estabilizadoras o desestabilizadoras. El cambio climático y la pérdida de biodiversidad ya posicionan a la humanidad en situación de alto riesgo de desestabilización, lo cual tiene profundas implicaciones para las condiciones de desarrollo futuro, la sostenibilidad de la civilización industrial y las políticas indispensables para evitar situaciones de mayor e irreversible desestabilización.

En este contexto global, planetario, los Objetivos de Desarrollo Sostenible constituyen uno de los instrumentos internacionales multilaterales más prometedores para que el mundo avance en la dirección correcta. Porque claramente nos encontramos en un parteaguas civilizatorio, en el que el gran desafío consiste en abandonar patrones de consumo y producción de una industrialización sostenida en el bombeo de energía fósil a la economía y en la degradación de ecosistemas por contaminación y cambio de uso de suelo, lo que ha posibilitado el crecimiento exponencial de la población humana, así como del flujo de energía y materiales per cápita. Los ODS ponen las bases para que el sistema humano global empiece a operar dentro de los límites físicos y funcionales que le imponen los ecosistemas de la Tierra y la biosfera, en el marco de la gran aspiración por erradicar la pobreza y el hambre, hacer prevalecer los derechos humanos y asegurar el bienestar de las generaciones futuras.

<sup>43</sup> *Ibid.*

<sup>44</sup> 4 y 5 de septiembre de 2016, en Hangzhou, China.

## Bibliografía

- Carstens, A., y P. Espinoza (2016), “El Acuerdo de París entrará pronto en vigor, es hora de que el dinero empiece a moverse”, *El Universal*, 1 de octubre de 2016 (Opinión).
- Hutchinson, G.E., *et al.* (1970), “The Biosphere”, *Scientific American* 223 (3), septiembre de 1970 <<https://www.scientificamerican.com/article/the-biosphere-1970-09/>>.
- IPCC (2014), *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)], IPCC, Ginebra, <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>>.
- Meadows, D., Jorgen Randers y Dennis Meadows (2004), *Limits to Growth: The 30-Year Update*, Chelsea Green Pub, Burlington (Vermont).
- Millennium Ecosystem Assessment* (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Washington, Island Press <<http://www.millenniumassessment.org/en/index.html>>.
- Odum, E.P. (1972), *Ecología*, México, Nueva Editorial Interamericana.
- OECD (2008), *OECD Environmental Outlook to 2030*, París, OECD.
- (2011), *Towards Green Growth*, París, OECD.
- (2012), *OECD Environmental Outlook to 2050. The Consequences of Inaction*, París, OECD.
- ONU (1972), *Declaración de Estocolmo sobre el Medio Ambiente Humano*, Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, 16 de junio de 1972.
- Rockström, J., *et al.* (2009), “A safe operating space for humanity”, *Nature*, vol. 461, 24 de septiembre de 2009.
- (2009), “Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity”, *Ecology and Society*, 14(2): 32 <[www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/](http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/)>.
- Semarnat (2013), *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010*, México, INECC.
- Steffen, W., *et al.* (2015), “Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet”, *Science*, 13 de febrero de 2015, vol. 347, núm. 6223, DOI: 10.1126/science.1259855 <<http://science.sciencemag.org/content/347/6223/1259855?sid=a09e735e-9b0c-4387-abb4-4070006c11f3>>.
- WCED (1987), *Our Common Future*, World Commission on Environment and Development, ONU, Oxford University Press.