DIOSES EN EL PATIO

CAMBIOS CLIMÁTICOS, TRANSICIONES ENERGÉTICAS
Y CULTOS APOCALÍPTICOS

Armando Páez García

Qartuppi

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>

DIOSES EN EL PATIO

CAMBIOS CLIMÁTICOS, TRANSICIONES ENERGÉTICAS
Y CULTOS APOCALÍPTICOS

Armando Páez García

Qartuppi®

CLÁUSULA DE EXENCIÓN DE RESPONSABILIDAD

Los puntos de vista, opiniones y posiciones expresadas en esta obra son responsabilidad del autor y/o proveedores de contenido; y no necesariamente reflejan o coinciden con aquellas de índole institucional, donde el autor pudiera prestar sus servicios profesionales.

A su vez, Qartuppi, S. de R.L. de C.V. renuncia a la responsabilidad que pudiera llevar la certeza, validez, utilidad, integridad, impacto, implicaciones o derivaciones legales que cualquier parte del contenido aquí publicado tenga o pueda llegar a tener en cualquier momento. A su vez, no se asume responsabilidad alguna en relación con la información aquí expresada; ni de las pérdidas, problemas, daños o perjuicios derivados por su uso o reproducción posterior.

Cabe mencionar que el proyecto del cual se deriva la presente obra no recibió ningún tipo de apoyo o financiamiento de parte de ninguna institución para su realización y/o distribución.

Dioses en el patio

Cambios climáticos, transiciones energéticas y cultos apocalípticos

1era. edición, noviembre 2016.

ISBN 978-607-97326-3-9

DOI 10.29410/QTP.16.08

D.R. © 2016. Armando Páez García
Contacto: aaopaez@gmail.com

D.R. © 2016. Qartuppi, S. de R.L. de C.V.
Calle Real 63, Col. Villa Satélite
Hermosillo, Sonora 83200 México
<http://www.qartuppi.com>

Edición y Diseño: Qartuppi, S. de R.L. de C.V.

Fotografía de portada: “Kelbra, Sajonia-Anhalt” por León Felipe Irigoyen Morales

Gracias

El Colegio de la Frontera Norte,
Cirila Quintero, Daniel González.
Amigos que me acompañaron en el proceso.

A mis ex alumnos

Contenido

I. El genio	11
II. Invernadero	19
III. Infierno	25
IV. Temperie, clima	37
V. Albedo	53
VI. La paradoja de Fagan	73
VII. Revolución	81
VIII. Patmos	97
IX. Petróleo	109
X. Rendimientos	113
XI. Energéticos	123
XII. La paradoja ecológica	143
XIII. Un enfoque postecologista	153
XIV. Bagdad	167

Referencias	170
Abreviaturas	183
Listado de Tablas y Gráficas	185
Anexos	187

La ciencia de hoy será mañana ideología; de ahí la urgencia de su elaboración. Saber y poder son dos caras de la misma cosa [...] La ciencia se hace crítica sólo en un estado avanzado de su evolución, mientras tanto es mera teoría. La teoría se hace crítica cuando niega el estado actual de las cosas, de la ciencia, del mundo, de la realidad.

Antonio Miranda, *Ni robot ni bufón* (1999)

El gobierno debería ayudarnos a los indios tepehuanes porque nosotros con nuestros sacrificios hacemos llover en todo el mundo. Si nosotros no ayunáramos, si no aclamáramos a los dioses en el patio, el mundo se secaría.

Pedro Flores citado por Fernando Benítez,
Los indios de México, 5 (1980)

I. El genio

En 1985, la editorial suiza Diogenes publicó la primera novela de un escritor alemán poco conocido, la cual se convirtió en *best seller*. El nombre del autor es Patrick Süskind y el de la novela es *El perfume*. 30 años, una película y 48 traducciones en diferentes idiomas después, más de 20 millones de copias de esta obra se han vendido. La editorial española Seix Barral presentó la primera versión en español, también en 1985.

Pero el fundador y director de Diogenes, Daniel Keel, no tuvo la misma suerte con la novela *El genio*, de otro escritor alemán poco conocido (o desconocido) —Dieter Eisfeld—, publicada un año después de *El perfume*. No fue un *best seller* y sólo hay traducciones en español, neerlandés y portugués; la primera edición en español fue publicada asimismo por Seix Barral, en 1987.

El perfume y *El genio* cuentan historias totalmente diferentes. La primera se desarrolla en la Francia del siglo XVIII, habla de sensaciones olfativas y un perfumista asesino. La segunda trata del tiempo meteorológico y un científico alemán, tiene su punto culminante en Múnich, en el entonces futuro cercano, los primeros años de la década de 1990. Además del tema, es ese juego futurista lo que hace en la actualidad interesante a *El genio*: rescatando el logro y el fracaso del sabio creado por Eisfeld, y la historia del propio libro en sí.

El personaje principal de *El genio* es un físico llamado Yan Zabor, inventor de una máquina meteorológica (la Máquina M.), la cual podía manipular las condiciones de la atmósfera. El año en que se publicó la novela es importante, 1986, es necesario ubicarse en el contexto político que existía en el mundo en la primera mitad de la década de 1980 ya que determina la trama de la historia: son años de la Guerra Fría, de dos bloques que buscaban dominar el mundo, el capitalista y el comunista, de Estados Unidos y la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) como polos de esos bloques, del Muro de Berlín y las dos Alemanias, la República Federal Alemana (RFA) o Alemania Occidental (capitalista) y la República Democrática Alemana (RDA) o Alemania Oriental (comunista).

El relato inicia con una “*Advertencia*” firmada en 1996. El clímax se alcanza entre 1991 y 1994, cuando la Máquina M. comienza a dar resultados en una Europa y Alemania, como ya se indicó, divididas: hay un muro que fractura Berlín e ideológicamente a Europa y el mundo, hay tensión política, la cual es un elemento fundamental en el dramático desenlace.

Pero en la vida real ese muro comenzó a caer el 9 de noviembre de 1989, sólo tres años después de que la novela fue publicada. Ni Eisfeld ni Keel ni los editores en España, Países Bajos y Portugal previeron la desintegración del bloque comunista y el colapso de la URSS. En 1991 ya no hay RFA y RDA, sino una

Alemania unificada. A nadie le interesa leer un libro que plantea un mundo que ya no existe, que no es; más aún, un mundo que muchos prefieren no recordar.

No obstante, a mediados de la década de 1980 hablar de la modificación a voluntad de las condiciones meteorológicas era un ejercicio de ficción, en la década de 2010 no lo es. La urgente necesidad de mitigar el calentamiento global hace de *El genio* una lectura obligada, ya que esta obra presenta un apocalipsis por la mencionada modificación de la atmósfera que podía realizar la Máquina M.

A continuación se retoma un fragmento de la “Advertencia” que da inicio a la novela:

de Zabor sólo quedó la experiencia de que su grandioso método para la «manipulación discrecional del tiempo» funcionaba, cualquiera que fuese su fórmula física. El hecho de que se autodestruyera en el mismo instante, convierte a Zabor en el paradigma de todos los genios naturalistas de nuestra época. Su experimento ya ha dejado atrás el destino que probablemente aún espera a los experimentos atómicos, biológicos, químicos y similares, a saber: el de destruirse a sí mismo, arrastrando consigo a la humanidad. (Eisfeld, 1987, p. 7).

La reflexión de Eisfeld adquiere, 30 años después, vigencia. El tema es la geoingeniería, ingeniería del clima o intervención del clima y sus posibles impactos. Esta actividad la define La Sociedad Real del Reino Unido como “*La manipulación deliberada a gran escala del ambiente planetario para contrarrestar el cambio climático de origen humano*” (Shepherd, 2009, p. 1). Los promotores de la geoingeniería dan como un hecho que el aumento del dióxido de carbono atmosférico, debido principalmente a la combustión de carbón y petróleo, está provocando un calentamiento global, y no sólo eso, también piensan que las medidas tomadas no son suficientes para evitar que el promedio de la temperatura siga creciendo hacia el año 2100.

Así, se proponen una variedad de métodos, con diversas características tecnológicas y posibles consecuencias, que se clasifican en dos grupos: i) eliminación de dióxido de carbono, ii) manejo de la radiación solar o modificación del albedo. Los primeros buscan reducir los niveles de CO₂ en la atmósfera para permitir que el calor (radiación infrarroja) pueda escapar más fácilmente, mejorando su captura y almacenamiento a través de sistemas biológicos terrestres y oceánicos o usando sistemas de ingeniería (físicos, químicos, bioquímicos). Los segundos, reducir la cantidad de radiación solar que se recibe, incrementando la reflectividad (efecto albedo) de la superficie terrestre modificando suelos u océanos, de la troposfera modificando las nubes o de la estratosfera liberando partículas.

Sobre los métodos de eliminación de dióxido de carbono, se concluye que los más prometedores son aquellos que lo remueven de la atmósfera sin perturbar los sistemas naturales y sin requerir un uso de suelo que demande grandes extensiones, por ejemplo, la reforestación y la reducción de la deforestación. Sin embargo, se indica que tienen un efecto lento en el sistema climático debido a la larga presencia del CO₂ en la atmósfera y que no representan una opción para reducir rápidamente la temperatura global. Sólo si se aplican a gran escala y por mucho tiempo pueden permitir la reducción del CO₂ atmosférico (Shepherd, 2009, pp. 9-21).

Sobre los métodos de manejo de la radiación solar, se indica que pueden proveer una herramienta útil para reducir las temperaturas globales rápidamente si es necesario. Ninguno de ellos está aún listo para ser implementado, de hecho requieren significativa investigación y en algunos casos pruebas piloto. Así, la técnica más prometedora es la liberación de aerosoles o partículas en la estratosfera, sin embargo, se necesita identificar y evaluar sus impactos en el ciclo hidrológico, la biosfera y el ozono estratosférico. Particularmente se destaca el potencial de los aerosoles de sulfatos, los cuales se presentan naturalmente en la estratosfera como consecuencia de las erupciones volcánicas. Por lo tanto, se sugiere simular el efecto de las erupciones para incrementar artificialmente la cantidad de estos aerosoles y así aumentar el albedo del planeta. Se considera que es poco probable un aumento de la lluvia ácida (por la presencia de ácido sulfúrico) debido a que los sulfatos agregados serían mucho menores de lo que emiten las erupciones volcánicas y la actividad industrial (Shepherd, 2009, pp. 23-36).

En un estudio más reciente, la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos recomendó invertir en la investigación y el desarrollo de los primeros métodos y no implementar en la actualidad los segundos (McNutt, 2015a, 2015b).

Ignorando si detrás de la geoingeniería hay una agenda industrial y/o militar que se vale del discurso del cambio climático de origen humano para afianzarse, se carece de elementos para sostener o negar esto y no es el objetivo de la obra profundizar al respecto. Si se cree que el aumento del CO₂ está incrementando la temperatura del planeta, se puede ver con buenos ojos a la ingeniería del clima; pero si se duda de esto es inevitable plantear si este conjunto de métodos son necesarios y si se han minimizado los posibles impactos negativos, a pesar de las recomendaciones de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos. Sobre esto, se puede sacar lecciones de *El genio*, por obvias que parezcan:

El espacio en torno al globo terráqueo resultó dañado. Su composición y eficacia quedaron perjudicadas, sobre todo la estratosfera o ionosfera, que debió de sufrir graves daños cuya consecuencia fue que los rayos solares llegaban a la tierra más directamente y menos filtrados que antes. Los expertos hablan hoy de un «agujero» en la atmósfera, aunque pequeño, sobre el centro exacto de Europa. Este cambio fatídico operado entre la capa protectora y la atmósfera se debió seguramente a las radiaciones de los aparatos con que se manipuló el tiempo. (Eisfeld, 1987, p. 176).

Lección 1: Existe la capacidad para modificar a voluntad el tiempo meteorológico (y por lo tanto el clima), pero esto implica un riesgo. Hablando de la estratosfera, en la vida real, concentrémonos en lo que parece la opción más adelantada de la geoingeniería en lo que se refiere a las técnicas de manejo de la radiación solar, la liberación artificial de aerosoles de sulfatos: ¿y si esta coincide con una gran erupción volcánica como la del Laki (Islandia, 1783) o el Tambora (Indonesia, 1815) o el Krakatoa (Indonesia, 1883) o una combinación de erupciones importantes en un tiempo corto, como sucedió con el Santa Helena (Estados Unidos, 1980), el Hekla (Islandia, 1980) y el Chichonal (México, 1982) o el Pinatubo (Filipinas, 1991) y el Hudson (Chile, 1991)? ¿O si coincide con el comienzo de un periodo natural de enfriamiento como el que se presentó entre los siglos XIV y XIX? Más aún, la liberación de sulfatos obliga a señalar el riesgo de un aumento de lluvia ácida, que La Sociedad Real subestima: fue este uno de los problemas que llevó a organizar en Estocolmo en 1972 la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano y a crear ese mismo año el Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (PNUMA), hoy promotor del discurso climático catastrofista. Sería una forma patética de cerrar el círculo.

Lo que la humanidad no había conseguido jamás se convirtió en realidad: el sol brilló por decreto, llovió en la cantidad ordenada, los vientos soplaron al gusto del consumidor y las temperaturas subieron o descendieron... ya no porque así lo quería la naturaleza, sino porque lo querían algunas personas.

Estas técnicas fueron dominadas a la perfección en su detalle, pero no así el fenómeno del tiempo en su conjunto. Quedó demostrado una vez más que quien es capaz de domesticar una parte de la naturaleza no es ni con mucho dueño de su totalidad. Al realizar en junio de 1994 algo que no estaba previsto en los planos de la naturaleza, dichos planos quedaron anulados. (Eisfeld, 1987, p. 176).

Lección 2: El tiempo meteorológico y el clima son impredecibles. Si bien el llamado de Eisfeld queda claro desde la primera página, es decir, su “Advertencia” sobre el riesgo de destrucción que implican los experimentos atómicos, biológicos, químicos, etc., en la parte final de la novela señala con precisión la amenaza que significa pretender modificar el tiempo meteorológico, entendió que no es posible controlar a la naturaleza. Sí, desaparecemos ecosistemas y alteramos la biosfera, pero buscar dirigir el estado de la atmósfera es algo más: ¿cómo prever y controlar las consecuencias de la modificación? ¿Y si se genera un problema mayor al pretender solucionar otro, que podría no serlo? Indudablemente se pueden hacer

estimaciones meteorológicas con cierto éxito (por ejemplo, días soleados, frentes fríos, número de huracanes, lluvias), pero nadie puede “predecir” con exactitud a qué hora y en dónde, a escala planetaria, habrá nubes dentro diez días, diez meses, diez años, diez décadas... y cómo serán esas nubes y cuál será su evolución.

Hoy los expertos se inclinan por la sorprendente interpretación de que con toda probabilidad no sólo Zabor sino también científicos anónimos de los Estados comunistas, habían desarrollado un método de estimulación del tiempo. De nuevo parece confirmarse la regla de la duplicidad de sucesos —que a su vez conduce a la división del mundo en dos partes— protagonizada en esta ocasión por Zabor. Se supone que los hacedores del tiempo del bloque oriental se proponían construir en el Harz un observatorio meteorológico dotado asimismo de dirección electromagnética. Probablemente no contaban con tantos medios como Zabor y era de suponer que perseguían fines totalmente distintos, pero en cualquier caso, existen muchos indicios de que estaban en situación de «matar», o como se llame, un temporal de lluvias. Tal vez Zabor no había sido el primero en descubrir el secreto de «hacer el tiempo» y es posible que tampoco fuera el único. Lo cierto es que sus colegas del Este, quienesquiera que fuesen, no escaparon tampoco de la catástrofe natural correspondiente. (Eisfeld, 1987, pp. 174-175).

Lección 3: El futuro es impredecible. Como ya se comentó, Eisfeld y sus editores pensaron que Europa seguiría dividida en un bloque capitalista y otro comunista (Oeste y Este) en la década de 1990 y que las diferencias entre estos no disminuirían, al contrario, razón por la cual tenía sentido plantear en una novela el uso de una máquina meteorológica para destruir al enemigo. Pero no sólo el comunismo llegó a su fin, el mundo se transformó en otro sentido, también en el plano ideológico y político. Un año después de la publicación de *El genio* se presentó un informe que se convirtió en la base de un proyecto global: *Nuestro futuro común* (1987) (conocido también como *Informe Brundtland*), “agenda global para el cambio” que marcó (marca) directrices en materia de política social y ambiental y presentó una de las ideas rectoras de las últimas décadas, el *desarrollo sostenible*. Teniendo en cuenta las recomendaciones de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD), autora del informe, establecida en 1983 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, se creó en 1988 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés, *Intergovernmental Panel on Climate Change*) y se celebró en 1992 en Río de Janeiro la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (o Cumbre para la Tierra), donde se adoptó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Si bien el aumento del efecto invernadero no era un tema recurrente en los medios de comunicación a mediados de la década de 1980, comenzó a serlo después de la Conferencia de Río; también influyó la creciente popularidad del político y ecologista norteamericano Al Gore, gracias a su libro *La Tierra en juego*, publicado asimismo en 1992, donde habla de la crisis ecológica y en varias páginas del calentamiento global. No se refleja en la novela el ascenso del ecologismo en la RFA, cuyo Partido Verde se fundó en 1980 (se puede apuntar que *El genio* es un ejercicio de conciencia ecológica que exagera al máximo el impacto del ser humano sobre la naturaleza: Eisfeld se aproxima a la ecotopía mostrando una distopía). Tampoco se dedican párrafos para discurrir sobre un posible calentamiento global debido a la emisión de dióxido de carbono. En 1986 nadie, quizá algunos funcionarios de las Naciones Unidas, podía prever que seis años después se celebraría en Brasil una cumbre internacional para hablar de medio ambiente y desarrollo... y cambio climático. Se reflexionaba sobre la falibilidad de la tecnología y los riesgos de la energía nuclear por los accidentes fatales del transbordador espacial Challenger y de la central de Chernóbil en Ucrania —algo que tampoco imaginó Eisfeld—.

Si bien *El genio* puede pasar a la historia de la literatura como una novela futurista fallida sólo a los pocos años de haber sido publicada, debido al cambio radical del contexto político en el que se plantea el relato, su trascendencia está en la crítica que hace al uso de la tecnología con la pretensión de modificar y controlar un fenómeno complejo y caótico, en este caso, el tiempo meteorológico. Si hoy Eisfeld escribiera su novela criticaría a la geoingeniería... ¿y al IPCC? Es él, no Zabor, el genio.

Si se parte de la idea de que las actividades humanas (industriales, agropecuarias) de los últimos 250 años no están provocando un cambio climático irreversible —y, por supuesto, tampoco apocalíptico—, la ingeniería del clima es una locura, particularmente, los métodos de manejo de la radiación solar. La única manera de detenerla no sólo es señalando sus posibles consecuencias negativas, sino desmontando el discurso que la sustenta: el calentamiento global de origen humano provocado por el aumento del dióxido de carbono atmosférico consecuencia de la combustión de carbón y petróleo.

El propósito de este libro es, por una parte, criticar el discurso catastrofista del cambio climático y presentar el otro paradigma científico sobre los cambios del clima, el cual pone atención en la variabilidad natural y no advierte una catástrofe debido a la quema de combustibles de origen fósil. La crítica al catastrofismo lleva a un análisis de la ideología que lo promueve —el ecologismo— y de la actividad científica.

Por otra parte, se señalará que el petróleo sí es un problema para la humanidad en estas primeras décadas del siglo XXI y en las que vienen: ante la declinación de la producción en los grandes y viejos yacimientos (Miller y Sorrell, 2014) —por ejemplo, Complejo Cantarell en México— se requiere explotar otros con características más complicadas, lo que tiene un impacto económico y financiero, además de ecológico y social (y geopolítico). No es exagerado discutir sobre los desafíos que esto significa considerando que somos dependientes de su consumo y que la sustitución del hidrocarburo como energético y materia prima debe tener en cuenta no sólo los límites ecológicos de la biosfera, sino los energéticos en sí mismos y la entropía, es decir, la degradación de todo lo que existe, incluyendo las alternativas renovables (mal llamadas, como veremos, “limpias”). El problema de fondo es la transición energética —no el aumento de un gas fundamental para la vida en la Tierra—, esto es, el paulatino fin del petróleo y sus derivados y su encarecimiento en caso de que no se desarrollen sustitutos, lo cual hoy es limitado.

Se esboza así un cambio de enfoque *postecologista*. La postura crítica ante el IPCC y el apocalipsis climático surge desde la energética, no de la “negación”, por intereses monetarios o de otro tipo, de todo llamado surgido del ecologismo, aunque sí de su discusión, incluyendo su expresión científica, ya que de ser un movimiento social más en los últimos años del siglo XX es en la segunda década del siglo XXI ideología y paradigma dominante. Es innegable el impacto del ser humano en el planeta; es cuestionable lo dicho por el IPCC y sus seguidores, incluyendo aquí a científicos, académicos y periodistas que difunden sin poner en duda la idea de la catástrofe climática, ignorando otros problemas, incluso ambientales.

También son cuestionables los diversos escenarios energéticos que se bosquejan: abundancia de hidrocarburos y carbón; escasez y agotamiento de hidrocarburos y carbón; futuro nuclear; autosuficiencia con fuentes renovables; mayores rendimientos y eficiencia energética; imposibilidad de una transición a fuentes renovables; almacenamiento de energía, etc.

Este enfoque *postecologista* no se construye esperando milagros tecnológicos, pero tampoco niega el impulso creativo que causan la necesidad y el lucro. Se viene conformando gracias a lo escrito por diversos autores, los cuales se presentan en estas páginas como reconocimiento y método de trabajo: parte del interés es exponer esas ideas que conducen a un examen del sistema de pensamiento aceptado. Se podrá criticar de este ensayo el exceso de citas, pero es preferible a ser acusado de plagio o de no interpretar correctamente las ideas originales. No se ofrece una compilación de capítulos y artículos, se destaca de cada autor, conceptos expresados en diferentes obras o a lo largo de una. Tómese este libro entonces como una revisión, incluso rescate, de lo dicho por otros. Pero también como un intento de elaborar un discurso sobre la energética social desde las múltiples realidades de un país aún petrolero del capitalismo periférico como lo es México (aunque no se profundizará en su situación). Es un enfoque que reconoce la capacidad auto-organizativa de los sistemas (uso de la energía), pero también su inevitable fin (degradación de la energía). Es un enfoque entrópico que no ignora nuestra capacidad de reflexión e invención, así como la corrupción y el sectarismo. Contempla el orden y el caos.

Y sobre este último concepto es necesario decir algo más. De hecho no sólo sobre la noción de caos, sino de los procesos caóticos en general, aspecto central en la cuestión del tiempo meteorológico y el clima, pero también en el desenvolvimiento de la sociedad-economía global en su conjunto, que determina la demanda de energía.

El estudio del caos como tal comenzó en las últimas décadas del siglo XX. Consiste en el análisis, siguiendo al químico Isaac Schifter, de fenómenos que suceden en la naturaleza y en experimentos controlados de laboratorio, cuya evolución es inicialmente determinista, que se caracterizan por tener un comportamiento que no puede ser descrito por leyes matemáticas sencillas:

Contrariamente a lo que podría esperarse, al aumentar la cantidad de información disponible no se evita la imposibilidad de conocer la progresión futura del sistema. Dicha evolución queda determinada por su pasado y una de las propiedades peculiares del caos es que la mínima incertidumbre en la definición de las condiciones iniciales se amplifica exponencialmente, alcanzando proporciones macroscópicas que impiden conocer lo que sucederá a largo plazo. (Schifter, 1996, p. 14).

Señala que el descubrimiento del caos determinista ha forzado un cambio sustancial en la filosofía de la ciencia, estableciendo “límites a nuestra capacidad para predecir un comportamiento” y abriendo “un nuevo espacio para comprender muchos fenómenos aleatorios que suceden en varios campos del conocimiento” (Schifter, 1996, p. 15). Apunta que encontramos comportamientos “desordenados”, por ejemplo, en los movimientos de los planetas de nuestro Sistema Solar, en el ritmo cardíaco, en la vida económica y —destaco— en los cambios climáticos. Este desorden “evoca un estado de confusión, una disposición de cosas más o menos irregular [...] la idea general es que el orden ha sido gravemente perturbado” (Schifter, 1996, p. 15):

El desorden se presenta entonces como algo que nunca debió haber existido y en el dominio de las ciencias se le acusa de delincuente que viola las “leyes de la naturaleza”. Durante mucho tiempo, la ciencia ha hecho suyo el credo de que detrás de los desórdenes aparentes de la naturaleza siempre existe un orden escondido. (Schifter, 1996, p. 15).

Esto último, como se verá, sigue presente. Cabe mencionar que el origen de esta revolución epistemológica se encuentra precisamente en la meteorología, en el trabajo que en 1963 hizo el matemático y meteorólogo Edward Lorenz, interesado en obtener un modelo que predijera el clima: buscaba desarrollar un sistema que simulara el complejo movimiento de la atmósfera y lo que encontró fue la “manifestación de la inestabilidad exponencial”. Señala Schifter que una de las características de esta inestabilidad de los sistemas caóticos es la pérdida de información con el paso del tiempo: los errores se multiplican hasta degradar toda la información de partida. Apunta que para un sistema multidimensional y complejo como la atmósfera “la dinámica misma es la única capaz de revelarnos la información que estaba contenida en las condiciones iniciales” (Schifter, 1996, p. 38).

Agrega que la evolución de un sistema caótico en esencia es impredecible debido a la extrema sensibilidad a las condiciones iniciales y al azar:

Una manifestación de la incapacidad de predecir la dinámica de un sistema caótico es que su evolución en el tiempo es computacionalmente irreducible. La manera más rápida de saber cómo prosigue la dinámica de un sistema caótico es observando su evolución. (Schifter, 1996, p. 40).

Concluye:

El caos determinista aporta una visión contraria a la que se tuvo durante mucho tiempo en el sentido de que un sistema se podía conocer si se estudiaban por separado las partes que lo constituyen. Con el caos se ha demostrado que un sistema puede exhibir un comportamiento muy complicado que emerge como consecuencia de la interacción no lineal de unos cuantos componentes del mismo. Por lo tanto, para que se presenten las oscilaciones y el caos, como también la posibilidad de tener varios estados estables, no se requieren complejos bloques de construcción. Hemos visto que

ecuaciones matemáticas muy sencillas generan resultados en donde es imposible la predicción del siguiente valor, si hay un número de requisitos mínimos satisfechos. (Schifter, 1996, pp. 101-102).

Es irrealizable “*la previsión estrictamente rigurosa del estado del sistema en un instante dado*” (Schifter, 1996, pp. 20-21). Y a partir de la negación de esto se construye el discurso apocalíptico del cambio climático e incluso se bosquejan los diversos escenarios también catastróficos de sociedades pos-petróleo: se prevé cierto estado de un sistema —en este caso el mundo— cuando, debido a su naturaleza caótica, en lo físico y lo social —incierta, inestable, azarosa—, no podemos predecir con exactitud lo que sucederá en el medio y largo plazo.

Si bien el ecólogo Howard Odum invita a poner atención en las oscilaciones presentes en la naturaleza y el Universo —lo que denomina el *paradigma de las pulsaciones*—, que permitiría explicar en parte la aleatoriedad (Odum y Odum, 2001, pp. 77-82, 281), hay factores y fenómenos aún inasibles, obsesión de los genios que buscan describirlos, para así intentar modelarlos.

En la base de la teoría de Odum está la naturaleza jerárquica de la energía (Odum, 1971; Odum y Odum, 1981, 2001). A diferencia de Zabor, él aprendió a comunicarse con los dioses.

II. Invernadero

Cambio climático, calentamiento global, efecto invernadero, gases de efecto invernadero, dióxido de carbono (o bióxido de carbono o anhídrido carbónico o gas carbónico o CO₂)...

Cuando comenzó a hablarse de esto en los medios de comunicación en la primera mitad de la década de 1990, pudo entenderse el problema del “*aumento del efecto invernadero*” gracias al libro *Cosmos* de Carl Sagan (1982), publicado originalmente en 1980, obra que fue para muchos, más allá de los cursos escolares, una introducción a la ciencia.

En el capítulo IV, titulado “Cielo e infierno”, el popular astrónomo y astrofísico habla del planeta Venus, “*una especie de catástrofe a nivel planetario*”, ya que la temperatura en su superficie alcanza alrededor de 480 °C:

Parece bastante claro actualmente que la alta temperatura de su superficie se debe a un efecto de invernadero a gran escala. La luz solar atraviesa la atmósfera y las nubes de Venus, que son semitransparentes a la luz visible, y alcanza la superficie. La superficie, que se ha calentado, trata de irradiar de nuevo ese calor hacia el espacio. Pero al ser Venus mucho más frío que el Sol emite radiaciones principalmente en el infrarrojo, y no en la región visible del espectro. Sin embargo, el dióxido de carbono y el vapor de agua de la atmósfera de Venus son casi perfectamente opacos a la radiación infrarroja; el calor del Sol queda atrapado eficazmente, y la temperatura de la superficie aumenta. (Sagan, 1982, p. 97).

Más adelante habla brevemente de los procesos que destruyen la superficie de los planetas terrestres (o rocosos): erosión, lluvia, sistemas meteorológicos, tormentas de arena, volcanes, procesos geológicos internos, glaciares. Y añade otro factor que puede alterar el paisaje y el clima de la Tierra: “*la vida inteligente, capaz de realizar cambios ambientales a gran escala*” (Sagan, 1982, pp. 98-99).

Explica que:

Al igual que Venus, también la Tierra tiene un efecto de invernadero debido a su dióxido de carbono y a su vapor de agua. La temperatura global de la Tierra estaría por debajo del punto de congelación del agua si no fuese por el efecto de invernadero, que mantiene los océanos líquidos y hace posible la vida. Un pequeño invernadero es buena cosa. (Sagan, 1982, p. 102).

Agrega que las principales fuentes de energía de la civilización industrial, además de la madera, son el petróleo, el carbón y el gas natural, combustibles fósiles que al ser quemados liberan al aire gases de desecho, principalmente dióxido de carbono:

En consecuencia el dióxido de carbono contenido en la Tierra está aumentando de un modo espectacular. La posibilidad de que se dispare el efecto de invernadero sugiere que tenemos que ir con cuidado: incluso un aumento de uno o dos grados en la temperatura global podría tener consecuencias catastróficas. (Sagan, 1982, p. 102).

Hasta aquí lo dicho en Cosmos (nótese que Sagan ya manejaba la idea de los 2 °C como el umbral del aumento de temperatura que no debe superarse).

Pero siguió tratando el asunto. En 1994, en el libro *Un punto azul pálido*, dedica algunas páginas para hablar de tres “*potenciales catástrofes ambientales*” que “*recientemente se han descubierto*” (Sagan, 1995, p. 221), una de ellas es “*el calentamiento fruto del efecto invernadero*” (las otras, la reducción de la capa de ozono y el invierno nuclear):

Se ha vaticinado que un calentamiento global del planeta se derivaría del creciente efecto invernadero, causado en gran medida por el anhídrido carbónico generado a raíz de la quema de combustibles fósiles, pero también por la acumulación progresiva de otros gases absorbentes del infrarrojo. (Sagan, 1995, p. 223).

Para sostener esto, Sagan destaca el trabajo del físico James Hansen, entonces director del Instituto Goddard para Ciencias Espaciales de la Administración Nacional de la Aeronáutica y el Espacio de Estados Unidos, que desarrolló “*uno de los principales modelos climáticos computarizados y lo empleó para predecir lo que podría sucederle a nuestro clima si prosigue la acumulación de gases de invernadero*” (Sagan, 1995, p. 224). Para probar su modelo, apunta, Hansen recogió datos climáticos de los siglos XIX y XX, “*lo que ha ocurrido realmente con la temperatura global, y luego los comparó con las predicciones del modelo computarizado acerca de lo que debía haber sucedido*” (Sagan, 1995, p. 224). Las series coincidieron. Indica que el interés de Hansen en el efecto invernadero de la Tierra se derivó de sus estudios sobre Venus (Sagan, 1995, p. 225).

Sagan cierra su reflexión con una crítica a los que dudan de esto:

Aquellos que se muestran escépticos acerca del calentamiento derivado del efecto invernadero por anhídrido carbónico harían bien en fijarse en el masivo efecto invernadero observable sobre el planeta Venus [...] especialmente por los que afirman que el creciente efecto invernadero que afecta a la Tierra se irá corrigiendo por sí solo, que no es necesario que nos preocupemos por ello, o [...] que el efecto invernadero en sí no es más que una «patraña». (Sagan, 1995, p. 227).

Ahora bien, ¿es correcto comparar a la Tierra con Venus en este sentido, tomar a Venus como una imagen del posible futuro de la Tierra en caso de que sigamos quemando petróleo y carbón y liberando así dióxido de carbono?

96.5 % de la atmósfera de Venus es dióxido de carbono, en la Tierra este gas representa 0.04 %, es una enorme diferencia (desde que comenzaron las mediciones del dióxido de carbono atmosférico terrestre en marzo de 1958 ha aumentado hasta agosto de 2016 alrededor de 0.01 %). Llama la atención que el mismo Sagan en Cosmos explica lo que se requeriría para liberar tal cantidad de CO₂ en la Tierra, considerando que la presencia de este gas en ambos planetas es similar:

La Tierra tiene, al igual que Venus, unas 90 atmósferas de dióxido de carbono, pero no en la atmósfera sino incluido en la corteza en forma de rocas calizas y de otros carbonatos. Bastaría

con que la Tierra se trasladara un poco más cerca del Sol, para que la temperatura aumentara ligeramente. El calor extraería algo de CO₂ de las rocas superficiales, generando un efecto más intenso de invernadero que a su vez calentaría de modo incremental la superficie. Una superficie más caliente vaporizaría aún más los carbonatos y daría más CO₂, con la posibilidad de que el efecto de invernadero se disparara hasta temperaturas muy altas. Esto es exactamente lo que pensamos que sucedió en las primeras fases de la historia de Venus, debido a la proximidad de Venus con el Sol. (Sagan, 1982, p. 102).

Cabe preguntar, no obstante, si ese “ligero” aumento de temperatura se presenta naturalmente durante los años o décadas más cálidos. ¿Es suficiente la explicación de Sagan?

En 1983, un grupo de científicos de diferentes países editó un libro titulado *Venus* (Hunten, Colin, Donahue y Moroz, 1983), que recogió lo que entonces era lo más adelantado sobre la observación de ese planeta, incorporando los datos de las naves espaciales de los programas Venera y Pioneer. En 1997 se publicó *Venus II* (Bougher, Hunten y Phillips, 1997), con datos más actualizados, así que *Venus* fue en buena parte de las décadas de 1980 y 1990 una referencia obligada para los estudiosos de ese mundo, la cual seguramente conocieron Hansen y Sagan antes de que comenzaran a advertir de la amenaza del calentamiento global.

En esta obra, el físico Thomas Donahue y el astrofísico James Pollack presentan en un capítulo una explicación del origen y la evolución de la atmósfera de Venus, donde indican que la alta temperatura de su superficie se debe a un “*muy eficiente*” efecto invernadero, proveyendo el dióxido de carbono la mayor parte de la opacidad infrarroja y la presión atmosférica y que el actual estado del clima se originó por aspectos termodinámicos y cinéticos (aquí marcan una diferencia con Sagan), lo que lleva a revisar la historia del planeta. Así, el importante incremento del nivel de CO₂, origen del efecto invernadero desenfrenado, se debió a movimientos tectónicos que fracturaron los depósitos de los que salió el gas, registrándose esto en una etapa temprana, proceso diferente a lo que sigue ocurriendo en la Tierra. Donahue y Pollack concluyeron su estudio con lo siguiente:

La imagen que está emergiendo es la de un Venus que comenzó a evolucionar a lo largo de una trayectoria similar a la de la Tierra, pero que sufrió tempranamente en su vida una catástrofe en la forma de un efecto invernadero desenfrenado [...] Claramente esta historia trae consigo una lección para que no se desencadene una catástrofe similar en la Tierra. Las probabilidades de que tal evento pueda suceder parecen ser muy pequeñas, pero la prudencia sugiere que la probabilidad sea evaluada con el caso de Venus en mente. (Donahue y Pollack, 1983, p. 1033).

Superando la preocupación por la catástrofe, uno encuentra que la conclusión de estos autores es contradictoria, ya que por una parte señalan que las probabilidades de que se presente un efecto invernadero desenfrenado en la Tierra “parecen ser muy pequeñas”, pero por otra hacen un llamado a la prudencia, aunque si la descomunal liberación del gas fue un evento geológico no hay prudencia que impida algo así. Puede plantearse que la liberación del gas es lo que está haciendo el ser humano desde el siglo XVIII. Ahora bien, Donahue y Pollack indican en las primeras páginas del capítulo que es conocido que “*casi todo el CO₂ liberado en la Tierra ha reaccionado con la corteza en la presencia de agua para formar carbonatos que han sido depositados en las capas de la litosfera*” (Donahue y Pollack, 1983, p. 1004). Esto no lo dijo Sagan.

Se puede concluir que el estado del conocimiento sobre Venus entre 1983 y 1994 no aportaba elementos para relacionar su efecto invernadero desenfrenado con una probable catástrofe en la Tierra por una mayor presencia —pero en comparación con Venus muchísimo menor— de CO₂ en la atmósfera debido a la quema de combustibles de origen fósil: lo que sucedió en Venus, según lo entonces expuesto, se debió a su mayor cercanía al Sol y a sus tempranos movimientos tectónicos; en la Tierra, el océano juega un papel fundamental en la captura del CO₂ atmosférico, liberado por movimientos tectónicos, volcanes, procesos

biológicos y en menor porcentaje, y sólo desde hace 250 años, la combustión de carbón e hidrocarburos. Sin embargo, la imagen de un planeta como el “infierno” venusiano impacta: ¿por qué la tomó Sagan para expresar preocupación por ese menor porcentaje extra de CO₂ en la atmósfera a pesar de la información ya publicada, ignorando, de paso, la importancia del vapor de agua en el mencionado “efecto invernadero”?

Cabe plantear además si la cantidad de luz solar que llega a la superficie de Venus es suficiente para mantener su elevada temperatura, algo ya medido y aceptado en la década de 1980. Aunque el planeta está más cerca del Sol, recibe por la presencia de ácido sulfúrico en su atmósfera (recordemos uno de los métodos de la geoingeniería propuestos para aumentar el albedo) menos irradiación que la Tierra (17 W/m² y 168 W/m², respectivamente), Sagan lo describe así: *“Un bajo porcentaje de la luz solar que cae sobre las nubes logra abrirse camino hasta el suelo, y Venus posee más o menos la luz de que disfruta la Tierra en un día encapotado”* (Sagan, 1995, p. 179). ¿Cómo ese “bajo porcentaje” de luz solar que llega a la superficie, correspondiente a un día cubierto de nubes en la Tierra, mantiene un “efecto invernadero” tan elevado?

Estudios recientes indican que, además del dióxido de carbono, son la alta presión atmosférica y la lenta rotación de Venus factores que influyen en su temperatura (Bengtsson, 2013, p. 1). Más aún, también se plantea la idea de que el vapor de agua probablemente fue el origen del efecto invernadero desenfrenado (idea desechada por Donahue y Pollack) debido a que lo hace crecer de manera importante; esta agua, producto del vulcanismo, fue evaporada por la proximidad del Sol, después entró en escena el CO₂ (Royal Belgian Institute for Space Aeronomy, 2015).

Siguiendo esto, para tener en la Tierra un efecto invernadero desenfrenado como el de Venus, necesitamos que los océanos se evaporen, el calor libere el dióxido de carbono de las rocas, se presente una elevación en la presión atmosférica y disminuya la velocidad de rotación del planeta... ¿Un aumento de 2 °C en la temperatura media global desencadenará esto? Más aún: ¿puede presentarse ese aumento particularmente por la mayor presencia de dióxido de carbono consecuencia de la combustión de petróleo y carbón?

Regresemos a Cosmos.

Después de describir el “infierno” venusiano, Sagan (1982) indica que *“también hemos perturbado el clima en el sentido opuesto”* (p. 102):

Durante cientos de miles de años los seres humanos han estado quemando y talando bosques, y llevando a los animales domésticos a pastar y a destruir las praderas [...] Pero los bosques son más oscuros que las praderas, y las praderas lo son más que los desiertos. Como consecuencia, la cantidad de luz solar absorbida por el suelo ha ido disminuyendo y los cambios en la utilización del suelo han hecho bajar [la] temperatura de la superficie de nuestro planeta. Es posible que este enfriamiento aumente el tamaño del casquete de hielo polar, el cual con su brillo reflejará aún más la luz solar desde la Tierra, enfriando aún más el planeta y disparando un efecto de albedo. (Sagan, 1982, p. 102).

Con esto en mente, Sagan se pregunta *“si existe el peligro de empujar el ambiente de la Tierra hacia el infierno planetario de Venus o la eterna era glacial de Marte”*. Su respuesta: *“nadie lo sabe. El estudio del clima global, la comparación de la Tierra con otros mundos, son materias que están en sus primeras [fases] de desarrollo [...] las consecuencias a largo plazo son en su mayor parte desconocidas”* (Sagan, 1982, p. 103).

En *Un punto azul pálido* Sagan sólo habla de las posibles consecuencias de un mayor “efecto invernadero”, pero, a diferencia de lo que dijo en Cosmos, ya no discute las posibles consecuencias de un mayor efecto albedo. ¿A mediados de la década de 1990 dejó de estar el estudio del clima global en sus “primeras fases de desarrollo”, ya se contaba con información suficiente para sostener una idea (aumento del “efecto invernadero”) y descartar otra (aumento del efecto albedo)? En *Billions and Billions* (Miles de millones), su último libro, publicado de manera póstuma en 1997, si bien comenta brevemente

cómo las nubes enfrían el planeta al reflejar la luz del Sol, no profundiza en el efecto albedo —de hecho no lo menciona— (Sagan, 1997b, p. 136); a pesar de que reconoce que aún había incertidumbres en la climatología (Sagan, 1997b, p. 144), se suma a las tesis del IPCC.

El autor que a muchos introdujo en los fascinantes caminos del pensamiento científico y la exploración espacial no aporta elementos para profundizar en el tema de los cambios climáticos y esbozar respuestas aunque sean parcialmente satisfactorias. Más aún, la idea del “infierno” ha tomado fuerza; es un culto, un culto apocalíptico por los escenarios de destrucción y muerte que se divulgan sin aceptar críticas, descalificando a los “escépticos” (¿no deben los científicos ser escépticos?).

Hay poca información: la geoingeniería propone crear un albedo artificial, ¿por qué no se habla del albedo natural que forman las nubes? ¿Por qué se ignora o subestima la variabilidad natural del clima? ¿Es necesario concentrarse en la “mitigación del” y la “adaptación al” cambio climático (calentamiento global) y destinar miles de millones de dólares para este fin? ¿Tiene sentido intentar construir un proyecto mundial de civilización “libre” de carbono? ¿Por qué se califica de “negacionistas” a los que plantean estas preguntas y dudan que la combustión de hidrocarburos y carbón será el origen de un cambio climático catastrófico? ¿Es esto una “patraña”?

De hecho la idea del “invernadero” para explicar el fenómeno de retención del calor irradiado por las superficies de Venus y la Tierra es incorrecta. Para analizar esto es necesario hablar de *transferencia de calor* (o intercambio térmico), que podemos definir como el paso de energía térmica (calor) de un cuerpo o fluido de mayor temperatura (más caliente) a otro cuerpo o fluido de menor temperatura (más frío). La transferencia puede ser por conducción, convección o radiación. La *conducción* es la transferencia de calor entre objetos o cosas que están en contacto directo, la energía se transmite a través de las moléculas de los materiales sólidos. La *convección* es la transferencia de calor mediante el movimiento de un fluido (gas o líquido). La *radiación* es la transmisión de calor a través del movimiento de ondas electromagnéticas, se recibe por exposición directa o indirecta (reflejada) de la fuente de calor.

Ahora bien, un invernadero es un espacio cerrado formado por una estructura que permite tener un techo y paredes de materiales transparentes (vidrio o plástico), los cuales dejan pasar los rayos del Sol y crean un ambiente con temperatura, humedad y otras condiciones controladas para el cultivo de plantas. La radiación solar (visible, de onda corta) pasa a través del vidrio o el plástico y es absorbida por el suelo, la tierra, los materiales de la estructura y los objetos y plantas que están en el interior, que al calentarse (arriba de la temperatura del entorno) reemiten la energía (radiación no visible, infrarroja, de onda larga). El vidrio o el plástico no transmiten inmediatamente al exterior la radiación infrarroja, así el calor no puede escapar (esa falta de transferencia térmica no es permanente, como veremos más adelante). Sin embargo, como el espacio está cerrado, el calor tampoco se pierde por *convección*, de esta manera, la temperatura en el interior del invernadero aumenta.

Por esta razón, no es correcto pensar en un invernadero para describir lo que sucede en la atmósfera de los planetas. Ya podemos leer una crítica al respecto en un artículo publicado por el físico de la atmósfera Fred Singer en la década de 1970:

El anhídrido carbónico reduce la cantidad de energía calorífica perdida por la Tierra en el espacio exterior. El fenómeno ha sido llamado «efecto de invernadero», aun cuando la analogía es inexacta, ya que en un invernadero más bien se impide la transferencia convectiva del calor que la irradiación infrarroja por el vidrio. (Singer, 1972, pp. 229-230).

Y una precisión más reciente que hacen los geógrafos Antonio Gil y Jorge Olcina:

En suma, la atmósfera, al contener gases transparentes a la radiación visible y muy absorbentes de la infrarroja, desempeña un papel, en cierta medida, similar a las paredes acristaladas de un invernadero

[...] Impropiamente, por cuanto el fenómeno es diferente, aun cuando sus consecuencias resulten parecidas. (Gil y Olcina, 1999, p. 254).

El vidrio o plástico que forma un invernadero no atrapa indefinidamente el calor, sí hay transferencia radiativa, esto debido a la *transmitancia térmica*, que es la cantidad de calor que atraviesa un elemento constructivo por unidad de tiempo y superficie. Más aún, si se llega a alcanzar una gran temperatura interior en un invernadero con acristalamiento sencillo (que es la imagen que ha inspirado a muchos científicos y ecologistas radicales desde comienzos del siglo XX), menor será la retención de calor debido a la alta transmitancia térmica del vidrio. Y por esto, no puede presentarse en un invernadero de este tipo una acumulación de calor desenfrenada (lo que sucede en Venus debe nombrarse de otra manera).

En un invernadero se busca tener un ambiente controlado, por eso es precisamente un espacio cerrado, esto no sucede en la Tierra: la temperatura tiene un rango de variación de algunos grados Celsius del día a la noche y estacionalmente. En un invernadero no hay viento, que en la Tierra se forma por el calentamiento de la superficie, las diferencias de presión y la rotación del planeta, entre otros factores que varían de lo local a lo hemisférico.

Pero ¿no formaría, retomando la imagen del invernadero, la mayor presencia de dióxido de carbono el equivalente a nuevas capas de vidrio o plástico, reteniendo así la salida del calor? Las moléculas del dióxido de carbono no se comportan como un vidrio: absorben el calor y lo vuelven a emitir; por el vidrio o plástico el calor pasa lentamente, son fenómenos distintos, así, la propuesta de capturar CO₂ para disminuir la reemisión de la radiación no puede aplicarse con estos materiales: si usted quiere disminuir la temperatura de un invernadero lo que debe hacer es abrir su puerta o ventanas para que se rompa el aislamiento, salga el aire caliente y así permitir la pérdida de calor, pero no sólo este escaparía, también podría entrar viento con aire más frío. El invernadero dejaría de funcionar como tal, no sería más un espacio cerrado. Es el control de la convección un factor esencial para su buen funcionamiento, en él debe existir un ambiente estático —el gran ambiente terrestre es dinámico—.

Pero esto no es todo: un invernadero está pensado para que pasen los rayos solares, su objetivo es la ganancia de calor, sería absurdo cubrir el techo y las paredes con un material que impidiera el paso del Sol. En la Tierra esto ocurre naturalmente a través de las nubes, el polvo, aerosoles... es el efecto albedo ignorado por Sagan en sus últimos libros y considerado por la geoingeniería para evitar el calentamiento del planeta... En el interior de un invernadero, por muchas capas de vidrio o plástico que tenga, después de varios días nublados la temperatura no aumentará o lo hará ligeramente: no “entrará” suficiente energía.

El “principal” desafío de la humanidad, las preocupaciones por un clima apocalíptico infernal, se construyeron a partir de ideas equivocadas. El vapor de agua, el dióxido de carbono y otros gases absorben y reemiten calor, indudablemente. Lo que se discute aquí es la precisión de los conceptos e imágenes empleadas para producir miedo. ¿No debe la ciencia ofrecer explicaciones esclarecedoras, ayudar a superar los miedos que son producto de la ignorancia? ¿No es lo que buscó Sagan (1997a) en *El mundo y sus demonios*, su penúltimo libro? ¿O es este un miedo posmoderno: el viejo concepto del infierno usado ahora por *científicos doctorados*, ya no por sacerdotes o pastores, para asustar a la nueva sociedad del “conocimiento”? ¿Cómo hacer ejercicios prospectivos útiles e intentar predecir con cierta objetividad el futuro si no hay claridad en las definiciones de los fenómenos que se pretenden describir y modelar?

III. Infierno

La Tierra en llamas; osos polares sobre pequeños bloques de hielo que apenas flotan sobre el mar; suelos áridos, fragmentados, sin vegetación, a veces con edificios como fondo; la foto satelital de un gran huracán... son las imágenes que comúnmente se muestran para hacer referencia a la destrucción que traerá (o ya trae) el calentamiento global. No importa que en Venus a pesar de sus más de 460 °C no haya fuego sobre las rocas de lava fundida (Bougher et al., 1997); que en la Tierra cada año debido al final del invierno, en cada hemisferio, se derrita el hielo marino, que los polos no se estén descongelando y que la población de osos polares no esté decreciendo (Idso, Idso, Carter y Singer, 2014, pp. 710-730; NSIDC, 2015); que la aridez tenga relación con el descenso de aire frío (subsistencia), corrientes marinas frías o la geografía (abrigo orográfico, continentalidad), no con el calor en sí (Gil y Olcina, 1999, p. 301); que no se haya registrado un aumento de huracanes en general y de ciclones con vientos muy fuertes en particular en lo que va del siglo XXI (hasta 2015) (National Hurricane Center, 2015).

Las imágenes arriba descritas son una muestra de la construcción social y periodística de este fenómeno, la cual se deriva de la construcción política y previamente científica —aunque imprecisa— del problema.

La relación entre el aumento del CO₂ atmosférico y un posible aumento de la temperatura fue planteada a finales del siglo XIX por el físico Svante Arrhenius y el geólogo Thomas Chamberlin. Sólo hasta mediados del siglo XX comenzó a recibir más atención, destacando el trabajo del ingeniero Guy Callendar, el físico Gilbert Plass, el geólogo Roger Revelle y el fisicoquímico Hans Suess.

Ahora bien, a pesar de la bibliografía científica existente en la década de 1960, el posible aumento de la temperatura del planeta no fue un tema central en la Conferencia de Estocolmo en 1972, cuyo objetivo fue discutir el deterioro del planeta por los efectos de la industrialización y plantear acciones para superar la crisis. La *Declaración* de la Conferencia presenta en el capítulo II el “Plan de acción mundial para el medio humano”; en la Recomendación 79 (dentro de la sección “Definición de los agentes contaminantes de vasta importancia internacional y lucha contra los mismos”, letra A: “Contaminación en general”) se habla de “*cambios climáticos*” sin definir nada al respecto, sugiriendo se profundice en la investigación, especialmente en sus causas (Naciones Unidas, 1973).

Dice más un informe no oficial encargado por Maurice Strong, secretario general de la Conferencia, preparado por la economista Barbara Ward y el microbiólogo René Dubos, que reunió la opinión de decenas de expertos en diversas áreas, presentado con el título *Una sola Tierra*, publicado también en 1972 como preámbulo a la cumbre. Señalan que las radiaciones solares, las emisiones de la Tierra, la influencia universal de los océanos y el efecto del hielo son vastos y quedan fuera del alcance de la acción directa del ser humano. Apuntan que el equilibrio entre la radiación de llegada y la de salida, es decir, la interacción de las fuerzas que mantienen el nivel de la temperatura media global, parece ser tan uniforme

que los rompimientos más leves del equilibrio de la energía podrían trastornar todo el sistema. Añaden que al interceptar las radiaciones de calor de la Tierra y transmitir las de regreso a ella, el llamado “efecto de invernadero”, el CO₂ es para los científicos un factor que puede desencadenar un pequeño pero fatal cambio que altere ese equilibrio:

No debemos esperar a que sea un hecho la fantasía de ver 3,500 millones de automóviles en el planeta para empezar a preguntar si la suma de todas las demandas probables de combustibles fósiles, en las primeras décadas del próximo siglo, no aumentarán considerablemente la emisión de CO₂ a la atmósfera, y al hacerlo dar lugar a una temperatura media de la superficie alarmantemente próxima al aumento de 2 °C que podría poner en marcha el calentamiento a largo plazo del planeta. (Ward y Dubos, 1972, p. 247).

Concluyen que no es absurdo preguntar si un incremento considerable en el contenido de CO₂ de la atmósfera producido por el ser humano, que coincida con uno de los calentamientos propios de la naturaleza, no podría transformar el equilibrio “en un violento cambio de peso y en un riesgo de consecuencias globales, enormes e impredecibles” (Ward y Dubos, 1972, p. 248) (nótese que ya manejan el umbral de los 2 °C).

Como ya se comentó, este temor no se explora en la Conferencia de Estocolmo. De hecho la crisis económica que afectó al mundo en la década de 1970 y parte de la de 1980, particularmente a las naciones industrializadas capitalistas, consecuencia del aumento de los precios del petróleo, hizo que las recomendaciones de la cumbre se convirtieran en letra muerta.

Es hasta mediados de la década de 1980 cuando el tema del calentamiento global recibe mayor atención, quedando establecido como una prioridad en *Nuestro futuro común* (1987). El tema del cambio climático es tratado especialmente en el capítulo VII: “Energía: opciones para el medio ambiente y el desarrollo”. Se indica que los riesgos y las incertidumbres ambientales de un futuro de alta energía son inquietantes y suscitan varias reservas, destacando entre ellas “la gran probabilidad de un cambio de clima causado por el llamado ‘efecto de invernadero’ debido a la emisión de gases en la atmósfera, en particular el dióxido de carbono (CO₂) producto de la combustión de combustibles fósiles” (CMMAD, 1987, p. 201).

Esta conclusión y la información que presenta la Comisión sobre el problema, las toma del reporte de la Conferencia Internacional sobre la Evaluación del Dióxido de Carbono y Otros Gases de Efecto Invernadero en las Variaciones Climáticas e Impactos Asociados, organizada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el PNUMA y el Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC) (hoy Consejo Internacional para la Ciencia), celebrada en Villach, Austria, en 1985. Así, prosiguiendo con el análisis del capítulo VII de *Nuestro futuro común*, en la sección II: “Combustibles fósiles: el dilema permanente”, hay una subsección titulada “La intervención frente a los cambios climáticos”, en donde ya se afirma lo siguiente (resumen):

1. Debido al “efecto de invernadero” la radiación solar queda retenida cerca del suelo, calentando al planeta y alterando el clima (párrafo 19).
2. El cambio climático debería considerarse como una “probabilidad muy seria” (párrafo 20).
3. Si aumenta la concentración de los gases de “efecto de invernadero” duplicando la registrada en la época preindustrial, se podría producir, ya hacia 2030, un aumento de la temperatura media mundial “superior a la jamás registrada en la historia de la humanidad”. Este aumento sería de entre 1.5 °C y 4.5 °C (párrafo 21).
4. Un mayor calentamiento en los polos (doble o triple del registrado globalmente) causaría un aumento del nivel del mar de 25 a 140 centímetros, lo que provocaría la inundación de ciudades costeras y zonas agrícolas. También se influiría en el régimen de lluvias. Probablemente, los límites de los cultivos y bosques se moverían a latitudes superiores (párrafo 22).

5. No hay manera de demostrar que cualquiera de estas hipótesis realmente suceda, sin embargo: “¿qué grado de certidumbre necesitan los gobiernos para decidirse a tomar medidas?”. Algunos expertos piensan que ya es demasiado tarde. Debido a la complejidad y la incertidumbre “urge emprender ya el proceso”, con una estrategia cuádruple que combine: una vigilancia y evaluación mejores de los fenómenos en curso; investigaciones intensificadas para mejorar los conocimientos relativos a los orígenes, los mecanismos y los efectos de los fenómenos; el establecimiento de políticas internacionalmente aceptadas para la reducción del volumen de gases causantes de esos fenómenos; la adopción de las estrategias necesarias para atenuar los daños y hacer frente a las alteraciones climáticas y a la subida del nivel del mar (párrafo 23).
6. Que los gobiernos y la comunidad científica promuevan la estrategia cuádruple por conducto de la OMM, el PNUMA y el CIUC, respaldado por un convenio mundial, de ser necesario (párrafo 24). (CMMAD, 1987, pp. 203-205).

Dentro de las referencias que presenta el informe se hace mención a dos estudios publicados en 1983 en Estados Unidos: *Can We Delay a Greenhouse Warming?* (¿Podemos retrasar un calentamiento de efecto invernadero?) y *Changing Climate* (Clima cambiante). En el primero, patrocinado por la Agencia de Protección Ambiental, se concluye que el incremento del dióxido de carbono atmosférico y otros gases de “efecto invernadero” aumentará sustancialmente la temperatura global. Si bien se indica que hay incertidumbre considerable sobre la proporción y la magnitud de este aumento, se estima que podría ser de 2 °C hacia mediados del siglo XXI y de 5 °C hacia 2100, lo que no tendría precedente. Se apunta que este incremento es probable que sea acompañado con “cambios dramáticos” en los patrones de precipitación y tormentas y un aumento del nivel del mar, por lo que las condiciones agrícolas serían alteradas significativamente, los sistemas ambientales y económicos potencialmente trastornados y las instituciones políticas presionadas. Si bien no hay una opinión uniforme sobre las acciones que deben adoptarse, ya que para algunos es algo muy especulativo, otros argumentan que sólo un cambio inmediato y radical en el porcentaje de emisiones de CO₂ puede evitar una catástrofe mundial (Seidel y Keyes, 1983).

En *Changing Climate*, preparado por un comité del Consejo de Investigación de la Academia Nacional de Ciencias, se concluye que a partir de los modelos hay considerable certeza de que habrá un incremento de la temperatura media global, el cual podría ser de entre 1.5 °C y 4.5 °C si se mantiene sin cambios la cantidad de CO₂ o si se duplica, siendo el valor inferior el más probable. Si el calentamiento global es de alrededor de 3 a 4 °C en los próximos 100 años, es probable que aumente el nivel del mar cerca de 70 centímetros, esto podría ser mayor si se desintegra la capa de hielo en el oeste de la Antártida, también es probable que desaparezca el hielo en el Ártico durante el verano. Ahora bien, este reporte señala que hay muchas y diversas incertidumbres sobre las emisiones y concentraciones de CO₂, los efectos climáticos y los impactos ambientales y sociales, por lo que no recomienda acciones urgentes (Nierenberg, 1983).

Cabe mencionar que antes de la publicación de *Changing Climate*, la Academia Nacional de Ciencias publicó a finales de la década de 1970 dos estudios sobre la cuestión climática, *Energy and Climate* (Energía y clima) (Abelson y Malone, 1977) y *Carbon Dioxide and Climate* (Dióxido de carbono y clima) (Suomi, 1979), en el segundo concluye que la duplicación de CO₂ podría provocar un aumento cercano a los 3 °C con un error probable de ± 1.5 °C, incremento también debido al aumento de la humedad.

En 1985, para dar seguimiento a las recomendaciones de la Conferencia de Villach, la OMM, el PNUMA y el CIUC crearon el Grupo Asesor sobre Gases de Efecto de Invernadero (AGGG, por sus siglas en inglés, *Advisory Group on Greenhouse Gases*), el cual fuertemente apoyó la declaración emanada de dicha Conferencia: que el incremento del dióxido de carbono y otros gases traza (presentes en la atmósfera en cantidades muy pequeñas, como el metano, los clorofluorocarbonos [CFC] y el óxido de nitrógeno), causantes del “efecto invernadero”, pueden producir un aumento de la temperatura media global de entre 1.5 °C y 4.5 °C hacia el final de la primera mitad del siglo XXI, con el correspondiente aumento del nivel del mar de entre 20 y 140 centímetros. El AGGG hizo revisiones de estudios relacionados con estos gases y evaluaciones de su tasa de incremento y de los efectos de dicho aumento; también se concentró en el

impacto de los CFC (Potter, 1986, p. 365). Tuvo su última reunión en 1990, fue gradualmente remplazado por el IPCC. Un miembro de este grupo fue el biólogo Gordon Goodman, que participó tanto en la Conferencia de Villach como preparando *Nuestro futuro común*.

El IPCC fue formado en 1988 a partir de la coordinación ejecutiva de la OMM y el PNUMA, reconociendo la necesidad de una evaluación científica coordinada internacionalmente sobre los efectos del incremento de las concentraciones de los gases de “efecto invernadero” en el clima de la Tierra y sobre la manera en que estos cambios pueden impactar los patrones socioeconómicos. De esta manera se creó este influyente órgano intergubernamental, con el objetivo de examinar y evaluar la más reciente bibliografía científica, técnica y socioeconómica con el fin de comprender el cambio climático. Cabe añadir que no realiza investigaciones ni genera o supervisa datos relativos al clima. Más adelante se hablará de sus Informes de evaluación. Su primer presidente fue el meteorólogo Bert Bolin, también miembro del AGGG.

En la Cumbre para la Tierra en 1992, el tema del cambio climático, a diferencia de la Conferencia de Estocolmo celebrada 20 años antes, ya es oficialmente reconocido. Esto se refleja en el Plan de Acción que se presentó, titulado *Programa 21*, donde en la sección II: “Conservación y gestión de los recursos para el desarrollo”, capítulo IX: “Protección de la atmósfera”, se trata el tema del cambio climático, haciendo referencia a la CMNUCC, la cual se adoptó en mayo de ese año. El documento de esta Convención reconoce que *“los cambios del clima de la Tierra y sus efectos adversos son una preocupación común de toda la humanidad”* y expresa inquietud

porque las actividades humanas han ido aumentando sustancialmente las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, y porque ese aumento intensifica el efecto invernadero natural, lo cual dará como resultado, en promedio, un calentamiento adicional de la superficie y la atmósfera de la Tierra y puede afectar adversamente a los ecosistemas naturales y a la humanidad. (CMNUCC, 1992).

El objetivo de la Convención y de los instrumentos que se deriven es lograr:

la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible. (CMNUCC, 1992, Artículo 2).

La Convención entró en vigor en marzo de 1994. Cada año, desde 1995, los países o partes que la integran se reúnen (Conferencia de las Partes, COP) para examinar el cumplimiento de los compromisos, el estado de la ciencia y la tecnología, los inventarios de emisiones, el financiamiento, proponer y discutir políticas para la mitigación y la adaptación y definir objetivos para resolver el problema del cambio climático. En 1997 se incorporó una adición, el Protocolo de Kioto, que definió medidas más enérgicas y legalmente vinculantes con la intención de disminuir la emisión de gases de “efecto invernadero” y aumentar el número de sumideros de carbono; entró en vigor en 2004. En la COP 18 (2012) se ratificó el segundo periodo de vigencia del Protocolo de Kioto (2013 a 2020), aunque no tuvo el respaldo de algunos países. En la COP 21 (2015) se llegó a un acuerdo para continuar con la reducción de los mencionados gases a partir de 2020, con el objetivo de mantener la temperatura media global a no más de 2 °C respecto a los niveles preindustriales, no obstante, estas reducciones dependerán de la voluntad de los países, no serán legalmente vinculantes.

La Convención, los gobiernos de los países que la integran y las organizaciones civiles, empresariales y académicas así como medios de comunicación que expresan preocupación e instrumentan acciones para hacer frente al cambio climático, fundamentan y justifican sus decisiones en los Informes del IPCC, que a la fecha (2016) ha publicado cinco (1990, 1995, 2001, 2007, 2014), los cuales integran a su vez

los informes de tres grupos de trabajo que tratan, respectivamente, i) las bases físicas (científicas) del cambio climático, ii) los impactos del cambio climático, la adaptación y la vulnerabilidad ante el fenómeno, iii) la mitigación del cambio climático.

Cada Informe es acompañado por un “Resumen para responsables de políticas”, que es revisado y aprobado previamente por los representantes de los gobiernos (el IPCC considera que la información que proporciona es rigurosa y equilibrada, pertinente para adoptar políticas). A continuación se destacan las afirmaciones más relevantes de dicho Resumen del *Quinto Informe de Evaluación* (2014) (en el Anexo 1 se presentan las afirmaciones en extenso):

Cambios observados y sus causas

La influencia humana en el sistema climático es clara y las emisiones antropógenas recientes de gases de efecto invernadero son las más altas de la historia. Los cambios climáticos recientes han tenido impactos generalizados sobre los sistemas humanos y naturales.

Cambios climáticos futuros, riesgos e impactos

La emisión continua de gases de efecto invernadero causará más calentamiento y cambios de larga duración en todos los componentes del sistema climático, incrementando la probabilidad de impactos severos, omnipresentes e irreversibles en la gente y los ecosistemas. Limitar el cambio climático requeriría reducciones sustanciales y sostenidas de la emisión de gases de efecto invernadero, las cuales, junto con la adaptación, pueden limitar los riesgos del cambio climático.

Vías futuras para la adaptación, la mitigación y el desarrollo sostenible

La adaptación y la mitigación son estrategias complementarias para reducir y manejar los riesgos del cambio climático. La reducción sustancial de emisiones en las próximas décadas puede reducir los riesgos climáticos en el siglo XXI y más allá, aumentar perspectivas para una adaptación efectiva, reducir costos y desafíos de la mitigación en el largo plazo y contribuir a vías climáticas resilientes para el desarrollo sostenible.

Adaptación y mitigación

Muchas opciones de adaptación y mitigación pueden ayudar para hacer frente al cambio climático, pero ninguna opción es suficiente por sí misma. Una instrumentación efectiva depende de políticas y cooperación en todos los niveles y puede ser mejorada a través de respuestas integradas que ligen la adaptación y la mitigación con otros objetivos sociales. (IPCC, 2014).

Se estima, siguiendo los modelos planteados, que la temperatura media global de la superficie se incrementará hacia finales del siglo XXI, probablemente, entre 0.3 °C y 4.8 °C, en relación con el promedio registrado en el periodo 1986-2005 (IPCC, 2014).

En las páginas anteriores se presentó brevemente la construcción política internacional, derivada de la previa construcción científica, del tema del cambio climático. En la Conferencia de Estocolmo el tema no recibió atención, esta se dio a partir de la Conferencia de Villach en 1985 (que recogió estudios publicados a finales de la década de 1970 y principios de la década de 1980), la cual definió el planteamiento del problema, que es presentado en *Nuestro futuro común* en 1987, informe que a su vez influyó en la creación del IPCC en 1988, en la adopción de la CMNUCC en 1992 y en la organización de la Conferencia de Río en ese mismo año. Los Informes del IPCC se han convertido en la base de la teoría y el discurso que sostiene la idea de que el dióxido de carbono emitido por el ser humano está causando un calentamiento del planeta, así como de las estrategias políticas internacionales y leyes nacionales que se han derivado de esto.

Cabe destacar aquí las conclusiones del *Informe Stern* (2007), encargado por el gobierno del Reino Unido al académico Nicholas Stern. Este estudio tuvo una gran divulgación, no fue preparado por un climatólogo, sino por un reconocido economista. Aquí un resumen de dichas conclusiones:

Aún estamos a tiempo de evitar los peores efectos del cambio climático, pero siempre que ya emprendamos medidas decididas y contundentes. *Las pruebas científicas son hoy apabullantes: el cambio climático es una grave amenaza mundial y exige una respuesta global urgente.*

El cambio climático podría tener repercusiones muy graves en materia de crecimiento y desarrollo. *De no emprenderse acción alguna para reducir las emisiones, la concentración de gases invernadero en la atmósfera podría alcanzar ya en 2035 el doble de su nivel previo a la era industrial, condenándonos prácticamente a un ascenso global medio de las temperaturas superior a los 2 °C.*

Los costes de estabilizar el clima son significativos pero razonables; los retrasos serían peligrosos y mucho más caros. *Los riesgos de que el cambio climático llegue a producir sus peores efectos pueden ser reducidos sustancialmente si los niveles atmosféricos de gases invernadero llegan a estabilizarse a un nivel equivalente a entre 450 y 550 partes por millón (ppm) de CO₂ equivalente.*

Es necesario actuar sobre el cambio climático en todos los países, pero sin necesidad de poner un tope a las aspiraciones de crecimiento de los países ricos ni a las de los pobres. *Los costes de las acciones a emprender no están uniformemente repartidos entre sectores ni por todo el mundo. Incluso si el mundo rico asume toda su parte de la responsabilidad y logra imponer recortes absolutos de las emisiones de hasta un 60-80 % para el año 2050, los países en vías de desarrollo no están exentos de emprender su cuota de medidas igualmente significativas.*

Existe toda una variedad de opciones para recortar las emisiones; se necesita una acción política enérgica y deliberada para motivar su asunción y su puesta en práctica. *Las emisiones pueden reducirse por medio de un aumento de la eficiencia energética, de variaciones en la demanda y de una adopción más extendida de tecnologías limpias de producción de energía, de calefacción y de transporte [...] El cambio climático es el mayor “fallo de mercado” del que el mundo jamás haya tenido noticia, un fallo que, además, interactúa con otras imperfecciones del mercado. Tres son los elementos que tienen que incluir las políticas, el primero es la asignación de precios al carbono (impuestos, intercambios mercantiles, regulaciones), el segundo es la implantación de medidas de apoyo a la innovación y al despliegue de tecnologías bajas en carbono, y el tercero es la eliminación de barreras a la eficiencia energética, así como a la información, la educación y la concienciación.*

El cambio climático exige una respuesta internacional basada en una concepción común de los objetivos a largo plazo y en un acuerdo sobre los marcos de actuación. *Es imprescindible la creación de un programa internacional compartido de objetivos a largo plazo y la construcción de los marcos internacionales que ayuden a cada país concreto a desempeñar su papel en el cumplimiento de esas metas comunes. Los futuros marcos internacionales deberían incluir los siguientes elementos clave: compraventa de emisiones; cooperación tecnológica; acciones destinadas a reducir la deforestación; adaptaciones.* (Stern, 2007, pp. 21-27).

Se presentaron fragmentos de documentos y estudios oficiales donde se trata el cambio climático. A continuación, retomando un análisis previo (Páez, 2010), se presentan extractos de diversas publicaciones para mostrar cómo el tema se ha planteado o divulgado desde la década de 1960. Se pondrá especial atención a lo dicho por Albert (Al) Gore, premio Nobel de la Paz en 2007 junto al IPCC por “sus esfuerzos para construir y diseminar un mayor conocimiento sobre el cambio climático causado por el hombre y sentar las bases de las medidas que son necesarias para contrarrestar ese cambio” (The Nobel Foundation, 2007). El objetivo de esta revisión es estudiar la evolución del discurso.

Al comenzar la década de 1960, el escritor Fred Reinfeld publicó un libro titulado en español *Actualidades en la ciencia*, en él presenta investigaciones y proyectos realizados en diversos campos, entre ellos

la electrónica, la energía nuclear y la meteorología. Sobre este tema, habla al final del correspondiente capítulo acerca de la “*modificación del clima*”, específicamente, el calentamiento global:

Los hombres de ciencia ofrecen varias explicaciones acerca del proceso gradual de calentamiento, que se está observando en nuestro planeta. Quizá la teoría más aceptada es que el volumen de bióxido de carbono en la atmósfera determina la temperatura, ya que las moléculas de bióxido de carbono tienen la propiedad de absorber y retener la radiación infrarroja. (Reinfeld, 1962, p. 224).

“Los hombres de ciencia” seguramente son Plass, Revelle y Suess, que en la segunda mitad de la década de 1950 publicaron artículos sobre el CO₂ y el clima. Reinfeld (1962) indica que a causa de la creciente industrialización, que ha conducido al “*muchísimo mayor*” consumo de carbón y petróleo, la atmósfera se carga de más y más CO₂, absorbiendo por lo tanto más y más radiación infrarroja, con la consecuente elevación de la temperatura. Advierte que: “*Si el consumo de combustible continúa al ritmo presente, para el año 2000 se habrá inyectado en la atmósfera alrededor de un billón de toneladas de bióxido de carbono, lo que elevará unos dos grados C la temperatura media*” (Reinfeld, 1962, p. 224). Señala que existen muchas maneras de detener esta “*alarmante tendencia*”, siendo algunas de ellas la energía nuclear y la solar. La clave es disminuir el consumo de combustibles de origen fósil. Este autor ya hace referencia al umbral de los 2 °C, aunque en los artículos revisados de los mencionados científicos no se hace una clara mención de esto (Plass, 1956; Revelle y Suess, 1957).

En el polémico e influyente estudio *Los límites del crecimiento*, publicado en 1972, poco se dice sobre el incremento de las emisiones de dióxido de carbono, puede leerse como una continuación de lo señalado por Reinfeld:

Si algún día la energía nuclear sustituyera a los combustibles orgánicos en la satisfacción de las necesidades humanas de energía, el aumento del CO₂ atmosférico llegará a detenerse; esperemos que esto suceda antes de que ejerza efectos ecológicos o climáticos apreciables. (Meadows, Meadows, Randers y Behrens III, 1972, p. 95).

La creciente preocupación sobre el problema, ya en la década de 1980, la podemos apreciar en *Energy and Resource Quality* (La energía y la calidad de los recursos) (1986), uno de los pocos libros que tratan diversos aspectos relacionados con la explotación y el consumo de los recursos energéticos. Sus autores, el ecólogo Charles Hall, el geógrafo Cutler Cleveland y el biólogo Robert Kaufmann, concluyen lo siguiente en su análisis de los impactos generales de la quema de combustibles fósiles:

Debido a que los impactos del calentamiento global producido por el incremento de los niveles de CO₂ son tan grandes, tan rápidos y tan irreversibles, la mayor parte de la comunidad científica (nosotros incluidos) cree que es prudente limitar la producción antropógena de CO₂ tanto como sea posible. Para conseguirlo debemos regular la actividad humana. Esto implica constricciones severas [...] Por otra parte, nos parece que es muy poco probable que voluntariamente restrinjamos nuestro consumo de combustibles. (Hall, Cleveland y Kaufmann, 1986, pp. 388-389).

Estos autores señalan que nunca la ciencia ni la sociedad se han enfrentado con algo así, ya que el problema es que se obtienen muchos beneficios de la combustión de carbón y petróleo, la emisión de CO₂ tiene relación con la riqueza que se consigue gracias al uso de la energía. Reconocen el problema y también plantean la contradicción (Hall, Cleveland y Kaufmann, 1986, p. 388-389).

Como hemos visto, en junio de 1992 se celebró la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, con el objetivo de contribuir a la construcción de una visión regional con miras a la cumbre, se estableció en 1989 la Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe. Fruto de su trabajo fue el informe *Nuestra propia agenda sobre desarrollo y medio ambiente*,

publicado en 1990, en él se define como uno de los “grandes temas ambientales globales” el “calentamiento climático”:

Las crecientes concentraciones de anhídrido carbónico, óxido nitroso, metano y otros gases de invernadero, probablemente producirán un calentamiento global estimado entre 1 y 2 C para el año 2030 y, aunque las emisiones de estos gases se mantuvieran estables a partir de entonces, la temperatura media global seguirá aumentando hasta alcanzar entre 1.5 y 3 C de temperatura mayor que la actual. (Comisión de Desarrollo..., 1991, p. 41).

Apunta esta comisión que las consecuencias más graves de este calentamiento se traducirán muy probablemente en un ascenso general del nivel del mar para el año 2030 con la consiguiente inundación de zonas costeras y ciudades importantes, el aumento de la variabilidad e impredecibilidad climática, una mayor frecuencia de eventos extremos como inundaciones, sequías, ciclones y tormentas tropicales y un desplazamiento de las grandes zonas agroclimáticas planetarias (Comisión de Desarrollo..., 1991, p. 41).

Salvemos la Tierra es el título de un libro publicado en 1991, preparado por el ecologista Jonathon Porritt con la colaboración de decenas de científicos y celebridades. En el capítulo III se trata el calentamiento global en un breve ensayo titulado “El clima en peligro”, su autor es el ingeniero Stephen Schneider, e indica:

Una docena de organismos consultivos han sostenido que, si seguimos contaminando la atmósfera con los gases de invernadero, un calentamiento global adicional de por lo menos 1 °C y posiblemente hasta de 5 °C puede esperarse para el siglo XXI [...] Las previsiones actuales tienen la misma probabilidad de ser demasiado conservadoras que de ser demasiado radicales. Así, los cambios del siglo XXI podrían ocurrir cerca de uno u otro de los dos extremos de la escala de 1 a 5 °C. En tales circunstancias, los sistemas ecológicos sufrirán alteraciones catastróficas. Yo no querría correr riesgos con el futuro del planeta. Preferiría hacer algo ahora para disminuir el rápido aumento de los gases de invernadero, en vez de esperar a que las cosas se arreglen por sí solas. (Porritt, 1991, pp. 97, 100).

En junio de 1992, coincidiendo con la Cumbre para la Tierra, Al Gore, entonces senador de Estados Unidos, publicó el libro *Earth in the balance*, traducido al español como *La Tierra en juego* (1993). Gore, que ocupó la vicepresidencia de su país entre 1993 y 2000, es uno de los personajes más influyentes en la difusión de la teoría del calentamiento global causado por el ser humano, sin duda el más importante sin formación científica física (estudió Ciencias Políticas en la Universidad Harvard, se graduó en 1969). El análisis de *La Tierra en juego* es fundamental en el estudio de la divulgación del discurso del cambio climático; no sólo trata el tema, le presta especial atención.

Gore indica que “abrió por primera vez los ojos a la idea de una amenaza ambiental planetaria” en sus tiempos de estudiante universitario. Uno de sus profesores fue Revelle, quien fue el primero en registrar el índice de CO₂ de la atmósfera, detectando que la concentración de este gas aumentaba rápidamente año tras año:

El profesor Revelle explicó que, de alcanzarse niveles más elevados de CO₂, se produciría lo que él llamaba “efecto invernadero”, que implicaría a su vez un aumento de la temperatura de la Tierra. Las consecuencias que dejaban entrever sus palabras eran sobrecogedoras: sólo contábamos con ocho años de investigaciones pero, de continuar esta tendencia, la civilización acabaría imponiendo un cambio profundo y desgarrador al clima de todo el planeta. (Gore, 1993, pp. 18-19).

Gore justifica su preocupación refiriéndose a “recientes análisis climáticos” que demostraban que el aumento del hambre en algunas zonas de África coincidía con un notable cambio en la distribución de las lluvias:

Los investigadores temen que esta tendencia de los últimos cuarenta años, que ha sido uno de los factores determinantes de las persistentes hambrunas, sea una de las primeras consecuencias del calentamiento global; en tal caso, podría augurar cambios todavía más perturbadores en los patrones climáticos cuando el calentamiento aumente. (Gore, 1993, p. 81).

Crítica a los que cuestionan el cambio climático, ya que “disponemos de información más que suficiente” y hay “evidencias de que la crisis avanza de modo inexorable”. Afirma que no hay ninguna duda de que la duplicación de CO₂ producirá un aumento de la temperatura global y que este proceso nos expondrá a la “eventualidad de cambios catastróficos en los patrones climáticos generales”. Más aún, invita a dejar de tratar el problema como un asunto científico: “Y puesto que continuamos describiendo la crisis en términos científicos, ello nos hace vulnerables a la minoría de investigadores cuyos argumentos tienden a negar su existencia” (Gore, 1993, pp. 48-49). Indica que esas teorías no deberían pesar del mismo modo “que aquellas otras, hoy ya mayoritariamente aceptadas, que nos advierten de la gravedad e inminencia de la crisis”:

Si, al introducir en el debate público todo cuanto aún ignoramos sobre la amenaza medioambiental, lo presentamos como un signo de que la crisis podría no ser real, estaremos socavando los esfuerzos tendentes a lograr un apoyo público efectivo para las duras medidas que pronto habremos de tomar. (Gore, 1993, p. 49).

Apunta que la teoría del calentamiento global antropógeno no puede rebatirse: “Los escépticos son minoría frente a los que antes lo fueron y se inclinan hoy ante el peso indiscutible de las evidencias”, analizadas por los “distinguidos científicos” del IPCC, que llegaron a la conclusión “prácticamente unánime de que el calentamiento es real y de que se debe actuar ya”:

Insistir en dudar de la absoluta certeza de todos los detalles de esta amenaza, la más seria de cuantas se nos han presentado hasta ahora, equivale hoy por hoy a cerrar los ojos a una verdad incómoda y desagradable: debemos actuar con firmeza, decisión y rapidez, aun cuando no conozcamos todos los detalles del problema. Quienes afirman que la respuesta idónea pasa por una prolongación de las investigaciones sólo quieren esconder su timidez o proteger sus velados intereses en el estado de cosas actual. (Gore, 1993, p. 50).

En su crítica a los escépticos, que opone a los “científicos acreditados”, habla de tres científicos del Instituto Marshall (Robert Jastrow, William Nierenberg, Frederick Seitz), los cuales “conjeturaron que, en un futuro próximo, el Sol podría enfriarse de pronto, lo justo para compensar el calentamiento global. Lamentablemente, ni las mediciones de la radiación solar ni las teorías físicas aceptadas otorgan la menor credibilidad a esta especulación” (Gore, 1993, p. 93).

Cabe destacar que Gore no desconoce los cambios climáticos más significativos registrados en los últimos mil años, el Periodo Cálido Medieval y la Pequeña Edad de Hielo:

Los registros climáticos del continente americano indican que, en torno al año 950, subieron las temperaturas y cambió el clima [...]

Así se inició el cambio climático global conocido como período de calentamiento medieval. Aunque está considerado como un fenómeno propiamente europeo, se trató, por lo visto, de un cambio en el patrón climático global advertido en Norteamérica por los primeros europeos allí establecidos. Y, de hecho, fue gracias a esta alteración en el clima que pudieron llegar allí. (Gore, 1993, pp. 73-74).

Con relación al segundo fenómeno, señala que *“Una de las fluctuaciones climáticas más importantes y mejor documentadas es la llamada Pequeña Glaciación (1550-1850), que aparece asociada a significativos cambios sociales en toda Europa”* (Gore, 1993, p. 75). Sin embargo, no profundiza en las causas de esas variaciones climáticas y las utiliza para mantener su postura: *“Actualmente resulta evidente que se ha invertido la relación entre la especie humana y los cambios climáticos: mientras que en otro tiempo la civilización temía los caprichos de la naturaleza, ahora es la Tierra quien debe soportar los nuestros”* (Gore, 1993, p. 83).

Para concluir la presentación de lo dicho por Gore en *La Tierra en juego*, se destaca que hace referencia a las hambrunas que provocó el “año sin verano” de 1816 para indicar *“lo vulnerable que es la civilización a los pequeños cambios climáticos globales”* y añade que en nuestra propio tiempo de vida podríamos llegar a experimentar un “año sin invierno” (Gore, 1993, p. 83).

La teoría del calentamiento global causado por las actividades humanas es aceptada más ampliamente a partir de la Cumbre para la Tierra y el anuncio del Protocolo de Kioto, muestra de ello, por ejemplo, es la edición de septiembre de 2004 de la revista *National Geographic*, donde presenta un informe consistente en tres reportajes, dedicado a este fenómeno. En la introducción de dichos reportajes (Marcas geográficas, Marcas ecológicas, Marcas en el tiempo) destacan las siguientes “señales de la Tierra”:

Se eleva el dióxido de carbono. Se calientan los océanos. Se derriten los glaciares. Sube el nivel del mar. Adelgaza el hielo marino. Se deshíela el permafrost. Más incendios devastadores. Encogen los lagos. Colapso de las plataformas de hielo. Sequías prolongadas. Aumentan las precipitaciones. Se secan los arroyos de montaña. La primavera se anticipa. El otoño se retrasa. Las plantas florecen antes. Las aves anidan antes. Blanqueamiento de los arrecifes de coral. Invasión de especies exóticas. Desaparecen los anfibios. Erosión de las costas. Aumento repentino de las temperaturas en latitudes altas. (Appenzeller y Dimick, 2004, p. 3).

Para los editores de esta revista, *“el mundo se está calentando ahora mismo; y rápido. En todo el mundo, la temperatura es 0.6 °C más elevada que en el siglo pasado”* (Appenzeller y Dimick, 2004, p. 11). Más aún, rechazan que el calentamiento del planeta sea un fenómeno natural:

¿No será el calentamiento actual otro capricho natural, algo pasajero? Mejor no asegurarlo, dicen los expertos en el clima. Los ritmos naturales del clima podrían explicar algunas de las señales de calentamiento, pero algo más está impulsando la fiebre que abarca al planeta.

Durante siglos hemos estado acabando con los bosques y quemando carbón, petróleo y gas, arrojando a la atmósfera dióxido de carbono y otros gases que atrapan el calor más rápido de lo que las plantas y los océanos pueden absorberlos. El nivel actual de dióxido de carbono es el más elevado en cientos de milenios.

[...] Los modelos del clima muestran que fuerzas climáticas naturales, como las erupciones volcánicas y los lentos destellos solares, no pueden explicar todo ese calentamiento.

De acuerdo con las proyecciones del IPCC, en la medida en que el CO₂ siga aumentando, lo mismo hará el termómetro. (Appenzeller y Dimick, 2004, pp. 11-12).

Otro ejemplo es la influencia del tema en el análisis de la cuestión urbana, así tenemos lo dicho por la ingeniera y urbanista Voula Mega (2005), que habla sobre *“la batalla del cambio climático [...] fenómeno multifacético [...] el tema más importante de las agendas de desarrollo sostenible”* (p. 60):

El calentamiento global es en parte el resultado de millones de decisiones individuales hechas por los residentes del mundo dentro de sus ambientes inmediatos. La contribución de cada ciudad al calentamiento global depende de su funcionamiento ambiental y económico, bienestar social y conciencia sobre su impacto en el ambiente global. (Mega, 2005, p. 60).

Para entender el cambio climático, es el título de un libro escrito por la politóloga Judith Pérez, publicado en 2011 (coeditado por la Cámara de Diputados de México), donde ofrece un panorama general sobre el calentamiento global, “uno de los fenómenos de la naturaleza con mayores implicaciones negativas para el planeta, y del cual se acusa al crecimiento y al desarrollo de las sociedades modernas, principalmente, en las naciones industrializadas” (Pérez, 2011, p. 19). Después de explicar el proceso de calentamiento debido al aumento del CO₂, indica que:

Los efectos para el ser humano son, en este caso, colaterales, puesto que al modificarse los ciclos naturales de las lluvias, se producen cambios en el clima en todo el planeta. Un incremento en la temperatura también ocasiona el deshielo y los aumentos en el nivel del mar. Hoy en día se presentan con frecuencia grandes inundaciones, tormentas, huracanes que arrasan con poblaciones completas y, por el contrario, en otras latitudes puede padecerse por las altas temperaturas y las sequías. Se cree que estos periodos con temperaturas extremas serán cada vez más frecuentes y severos, todo ello ocasionado por los cambios en la temperatura del planeta, el calentamiento global. (Pérez, 2011, pp. 19-20).

Pérez ya da como un hecho el problema y su proyección catastrófica. Explica que:

El instrumento fundamental para predecir los cambios climáticos son los modelos de simulación (Modelos de Circulación General) por computadora de la superficie de la Tierra y sus procesos. Estos modelos funcionan con aplicación de movimientos a las variables clave, como por ejemplo, una duplicación de CO₂ en la atmósfera para ver qué sucede. (Pérez, 2011, p. 87).

La comunidad científica y el IPCC utilizan estos modelos para realizar estudios y predicciones. En las simulaciones se consideran, añade, diferentes variables, como vientos, nubes, humedad, concentración de gases, corrientes marinas, temperaturas del agua y su salinidad, precipitaciones, la orografía, la biosfera y criosfera (Pérez, 2011, pp. 87-88).

Entre las alternativas y soluciones al problema del calentamiento, esta autora destaca la eficiencia energética, descarbonizar los recursos energéticos, acelerar el desarrollo y el empleo de nuevas tecnologías, cambiar las actitudes y las conductas de los productores y los consumidores, preservar y expandir los sumideros de carbono (forestación, evitar la deforestación) (Pérez, 2011, pp. 101-108).

Concluye que:

La investigación reciente indica que es necesario limitar el calentamiento a unos 2 °C. Superar estos niveles puede generar riesgos irreversibles y potenciales para el clima con consecuencias catastróficas para especies y el medio ambiente. Lograr esta meta implica que las concentraciones máximas de carbono en la atmósfera deben ser entre 475-500 ppm de CO₂. (Pérez, 2011, p. 109).

La presentación de artículos de opinión y trabajos de divulgación sobre el tema, además de los Informes del IPCC y la literatura científica, puede ser interminable. El propósito de este capítulo fue señalar las ideas centrales del discurso del cambio climático causado por el ser humano y las consecuencias catastróficas que se prevén.

Para concluir esta revisión, se toma un artículo publicado en el sitio de opinión de internet *Project Syndicate*, el cual sirve como introducción para lo que se discutirá más adelante. Las palabras son del politólogo Michael Jacobs:

Poderosos intereses creados —y, en particular, las industrias mundiales de combustibles fósiles— intentarán sin lugar a dudas limitar los avances y la mayoría de los gobiernos no están aún centrados en ese problema, pero una cosa es segura: está resultando imposible pasar por alto la realidad del cambio climático. (Jacobs, 2014).

IV. Temperie, clima

Desde mediados de la década de 1980 se viene planteando como un serio problema el cambio climático, pero, más allá del “efecto invernadero”, el dióxido de carbono y las catástrofes anunciadas, poco se habla de lo que es el clima, de hecho, fuera del círculo de expertos, no suele hacerse la distinción entre clima y tiempo meteorológico. A continuación se presentan algunas definiciones relacionadas con estos conceptos y las ciencias que los estudian: la climatología y la meteorología. Se utilizaron libros publicados en español, pensando en que cualquier lector de esta obra pueda consultarlos. Se incluye lo que sus autores señalan sobre el tema de los cambios climáticos en general y del calentamiento global registrado desde finales del siglo XX en particular. Estos libros son: *Elementos de meteorología y climatología* de la geógrafa Teresa Ayllón (2003), publicado originalmente en 1996; *El veleidoso clima* del físico René Garduño (2003), publicado originalmente en 1994; *Climatología básica* de los geógrafos Antonio Gil y Jorge Olcina (1999); y *El libro del tiempo* del meteorólogo Manuel Toharia (2013).

La meteorología, indica Ayllón, “*estudia las causas, estructura, naturaleza, evolución y relación de los fenómenos atmosféricos, así como las condiciones dominantes en un periodo corto que es llamado tiempo meteorológico*”. Precisa que los mapas meteorológicos del tiempo o sinópticos:

se elaboran con información del momento presente, producto de la concentración de datos de una amplia área geográfica, en los que aparecen trazadas las isobaras (misma presión atmosférica) y, ocasionalmente, las isotermas (misma temperatura), que permiten conocer el tiempo reinante y hacer la predicción del mismo. (Ayllón, 2003, p. 19).

Garduño (2003) apunta que la información meteorológica es geométricamente tridimensional, “*pues las condiciones atmosféricas varían también verticalmente. Al conjunto de meteoros o condiciones atmosféricas, materia de estudio de la meteorología, se le llama estado del tiempo, tiempo meteorológico o (simplemente) tiempo*” (p. 17). Señala que en el idioma inglés hay dos palabras para diferenciar el tiempo meteorológico del cronológico: *weather* y *time*, respectivamente; en español también existe esta distinción, con el vocablo *temperie*, que poco se usa, para referirse al tiempo meteorológico.

Así, el estudio de la temperie comprende el registro y análisis de la presión atmosférica, la temperatura, la humedad, la precipitación, el viento y la radiación solar.

Garduño (2003) indica que el clima es “*el promedio de las condiciones meteorológicas en periodos del orden de un mes y mayores*” (p. 17). Podemos hablar del clima de un mes y un año en un sitio determinado, en una región amplia o incluso en el mundo entero. Sin embargo, precisa que esta definición de

clima es "un tanto moderna, pues anteriormente el concepto se aplicaba solamente a lo que hoy llamamos condiciones normales o media climatológica, a saber, el promedio de muchos años (ortodoxamente, 30) de la temperie, por época del año" (p. 17). El estudio del clima medio se llama climatología y es una disciplina básicamente descriptiva (p. 17).

Gil y Olcina (1999) señalan que la raíz de la voz clima es griega, significa "inclinación", aludiendo a la de los rayos solares: "dicho sustantivo designaba franjas o anillos terrestres, delimitados a partir del ecuador por paralelos" (p. 1). Comentan que no existe una definición de clima generalmente aceptada:

De manera sumaria, y simplificando la problemática, pueden manejarse dos referencias básicas: una de carácter analítico (el conjunto de los fenómenos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie terrestre) y otra de naturaleza sintética o, más concretamente, sinóptica. En efecto, desde mediados del siglo XX se afianza otra visión de clima, que pone el acento en los cambios de estado de la atmósfera, de modo que el clima vendría caracterizado por el conocimiento de la sucesión o ritmo habituales de estados de la atmósfera sobre el punto considerado. Desde esta perspectiva, el clima sería, la película o secuencia de los tiempos; en este nuevo planteamiento adquiere importancia de primer orden el concepto de tiempo, que presta base, a través de su catalogación, al de tipo de tiempo. (Gil y Olcina, 1999, p. 2).

Ayllón (2003) explica que en los mapas climáticos "se trazan isolíneas de temperatura, de presión atmosférica, de vientos o de precipitación, utilizando valores medios obtenidos por procesamiento de la información de muchos años. Dichas isolíneas son casi invariables a lo largo del tiempo [cronológico]" (p. 19).

Garduño (2003) apunta que la climatología nos dice cómo es el clima,

pero no nos dice por qué es así y mucho menos cómo será; para explicarlo y predecirlo es necesario entender científicamente las relaciones de causa-efecto entre sus variables. Por tratarse de un sistema físico, esta comprensión sólo es posible por medio de leyes físicas expresadas matemáticamente; a esta representación de la realidad por medio de relaciones fisicomatemáticas se le llama modelo y a esta forma de estudiar los estados y procesos del clima se le denomina a veces climatología física; yo prefiero llamarla física del clima (o teoría del clima). (pp. 18-19).

Gil y Olcina (1999) señalan que no existe una definición unánimemente compartida de climatología:

La más sencilla y menos comprometida es la de ciencia de los climas, que los investiga en su doble vertiente básica y aplicada. Hay, sin embargo, quien reclama una acepción más precisa y matizada; la notoria dificultad de esta exigencia guarda estrecha relación con el propio desarrollo de la climatología, conectado con el progreso de las disciplinas afines y aledañas; y estas son muy diversas. Las distintas definiciones de climatología suelen revelar las preocupaciones básicas o las valoraciones que de los fenómenos atmosféricos tienen sus autores. (p. 3).

Indican que la perspectiva del meteorólogo es prospectiva, "puesto que pretende la predicción del tiempo, investigando a la búsqueda de la mayor seguridad, precisión y alcance temporal de esta"; en cambio, la visión del climatólogo es retrospectiva, ya que "ha de utilizar las series de observaciones disponibles para encontrar explicación al ritmo o sucesión de tipos de tiempo que pretende averiguar" (Gil y Olcina, 1999, p. 5).

Estos autores presentan una primera aproximación de las que consideran las tres grandes etapas en el desarrollo de la meteorología y la climatología, de duración y contenido muy desigual. La primera es la más prolongada, pero cuyo progreso fue más lento, comprende desde los inicios de la humanidad hasta el siglo XVI; un "hito sobresaliente" fue la aparición, hacia el año 240 a.n.e., de la obra *Los meteorológicos* de Aristóteles.

La segunda etapa es mucho más breve, sólo incluye los siglos XVII y XVIII, sin embargo, señalan, *“durante esas dos centurias se producen modificaciones de gran trascendencia, ya que se pasa de la mera especulación a la verificación científica”* (Gil y Olcina, 1999, p. 6), así, hay nuevos planteamientos doctrinales siguiendo el empirismo del filósofo Francis Bacon y el racionalismo del también filósofo René Descartes y la *“puesta a punto de instrumentos para la observación de variables meteorológicas (pluviómetro, termómetro, higrómetro, barómetro), hecho que permite aplicar los nuevos planteamientos filosóficos”* (Gil y Olcina, 1999, p. 6); también a finales del siglo XVIII comienzan a configurarse las primeras redes de observación meteorológica.

En la tercera etapa, que abarca desde el siglo XIX, se ha producido el avance con mayor rapidez e intensidad de las distintas ramas de la climatología, señalan como referencias básicas: el inicio de la corriente sinóptica en meteorología y climatología (primeros mapas de campos de presión en superficie); la formulación de las primeras clasificaciones climáticas; las aportaciones de la escuela noruega de Bergen (identificación de masas de aire, caracterización de los ciclones extratropicales y desarrollo de la teoría frontológica); la detección de las corrientes en chorro (*jet stream*), consecuencia del mejor conocimiento de los niveles superiores de la troposfera; y la renovación de la red mundial de observación con el empleo de satélites en el marco del Programa de Vigilancia de la OMM (Gil y Olcina, 1999, pp. 5-7).

Explican que en la actualidad la ciencia climática maneja tres fuentes de trabajo básicas: datos analíticos, mapas del tiempo e imágenes de satélite, *“cuya combinación resulta esencial para comprender los rasgos fundamentales de la circulación atmosférica y su plasmación en el mosaico de climas planetario”* (Gil y Olcina, 1999, p. 26). Así, hay estaciones completas (en ellas se obtienen registros diarios de todos los elementos atmosféricos: temperaturas, precipitación, humedad, viento, presión, insolación, radiación, nubosidad; están ubicadas, generalmente, en las principales ciudades o en instalaciones aeroportuarias), estaciones termo-pluviométricas y estaciones pluviométricas. Indican que dentro del Sistema Mundial de Observación también reviste gran importancia la red mundial de estaciones meteorológicas situadas sobre superficies marinas (oceánicas, de buques seleccionados y de buques suplementarios). Apuntan que la descripción del tiempo resulta incompleta sin el conocimiento de las condiciones (temperatura, presión y humedad) que prevalecen en las capas superiores de la atmósfera y para esto se emplean radiosondeos. Más aún, los radares meteorológicos y los satélites han inaugurado *“una nueva etapa en los estudios del tiempo y el clima”* (Gil y Olcina, 1999, pp. 26-42).

Para cerrar esta breve introducción a estas ciencias, se toman las palabras del geógrafo José Ortega, quien señala que la nueva meteorología ha condicionado el desarrollo de la climatología moderna como una disciplina científica que sobrepasa la simple clasificación de las variables climáticas:

La climatología se constituye y desarrolla en la segunda mitad del siglo XX, periodo en el que adquiere sus rasgos actuales. Se perfila como una disciplina que aborda los fenómenos y procesos climáticos en el marco de la circulación general atmosférica. Esta permite relacionar las distintas situaciones atmosféricas que caracterizan un área determinada, de acuerdo con los grandes centros de acción que las generan. La sucesión de tipos de tiempo, asociados a aquellas, marca los rasgos sensibles del clima, en un lugar o región.

La climatología dinámica o sinóptica permite situar los datos meteorológicos en un marco comprensivo, en el que la interrelación entre dinámica general y contexto local o regional adquiere una significación geográfica más precisa.

El cambio de orientación se produce en la segunda mitad del siglo XX y sólo se consolida a partir del decenio de 1960, a la par que se esbozan las nuevas direcciones de la investigación climatológica. (Ortega, 2000, pp. 380-381).

La climatología, indica René Garduño, también se ocupa de caracterizar geográficamente el clima y lo hace de acuerdo a su temperatura y su precipitación; así, se habla de una región cálida subhúmeda o de una templada seca, etc. (Garduño, 2003, p. 18). Profundizando al respecto, Gil y Olcina, citando al

climatólogo Hermann Flohn, indican que si se quiere comprender la distribución geográfica de los climas de la Tierra tenemos que retroceder a sus orígenes:

Las causas fundamentales del clima son las variaciones estacionales y geográficas de la cantidad de radiación que alcanza la Tierra y que tiene repercusión en la circulación general de la atmósfera [...] si prescindimos de los detalles aislados se comprueba que los tipos dominantes de tiempo se mueven con los cinturones de presión y viento. El resultado es que la nubosidad más densa y las precipitaciones frecuentes van asociadas a zonas de baja presión y también, aunque en menor grado, al cinturón de vientos del oeste. Por el contrario, en la zona de células de alta presión y en algunas zonas de viento del este tendremos escasa nubosidad y predominio de sequía. (Gil y Olcina, 1999, p. 293).

Señalan que Flohn en 1950 propuso las siguientes zonas climáticas: polar, subpolar, templada, subtropical de lluvias invernales, subtropical seca, tropical de lluvias estivales, ecuatorial lluviosa (Gil y Olcina, 1999, p. 295); y el climatólogo Boris Alissow en 1954 sugirió la siguiente clasificación: ecuatorial y subecuatorial, tropical, subtropical, templada, subártica, ártica (Gil y Olcina, 1999, p. 298).

El cambio climático, podemos concluir, supone la modificación de estas zonas.

Veamos ahora algunos aspectos relacionados con la estructura de la atmósfera, lo cual es fundamental para analizar si tienen sentido los escenarios climáticos catastróficos que se plantean.

Gil y Olcina (1999) indican que el aire es una mezcla gaseosa inodora, incolora e insípida, y no una combinación, ya que sus componentes no reaccionan entre sí:

El aire contiene en el suelo, en volumen, 78 % de nitrógeno, 21 % de oxígeno, 0.9 % de argón, y, en proporciones ínfimas, los restantes gases: de 100 gramos de aire puro, 75.5 corresponden al nitrógeno, 23.2 al oxígeno y 1.2 al argón, de manera muy aproximada, ya que la masa de los otros gases (dióxido de carbono, neón, helio, metano, criptón, hidrógeno, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, xenón, ozono) apenas cuenta. Incorpora también el aire, en proporciones variables, vapor de agua, entre 1 y 5 %, además del denominado polvillo atmosférico (residuos de combustión, polen, bacterias, cenizas volcánicas, gotillas, etc.). (p. 43).

Sobre el dióxido de carbono, gas denso, incoloro, inodoro e insípido, descubierto por el físico y químico Joseph Black en 1754 (al que denominó “aire fijado”), apuntan que su origen se encuentra en emisiones bióticas marinas y terrestres y muy secundariamente en la quema de combustibles fósiles, siendo disociado por la fotosíntesis. Su valor de referencia en el suelo es de 0.04 % (dato actualizado a mediados de 2016), sin embargo, en los niveles inferiores se encuentra en proporción variable, su porcentaje es mayor en las ciudades que en el campo, debido a la quema de combustibles fósiles y, en función de la fotosíntesis, durante la noche que en el día; su presencia se reduce rápidamente con el incremento de la altitud. Agregan que no es tóxico, sólo puede provocar asfixia con una concentración muy alta (Gil y Olcina, 1999, pp. 43-44).

Hablan también de la estructura térmica de la atmósfera, cuya nomenclatura es la siguiente: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera. Precisan que la troposfera es la capa que posee una mayor relevancia climática, ya que en ella existen cambios de naturaleza meteorológica, destacando tres aspectos: i) es una capa turbulenta, agitada por movimientos horizontales y verticales e influenciada por el relieve y las formaciones vegetales, ii) es homogénea debido a la mezcla que produce la turbulencia, encierra más de las tres cuartas partes de la masa atmosférica y la totalidad del dióxido de carbono y el agua atmosférica, en ella se producen los cambios del estado del agua y por lo tanto todos los hidrometeoros, iii) la temperatura desciende con el incremento de la altitud por término medio a razón de 0.65 °C/100 m, aunque, precisan, los cambios de temperatura son irregulares en los primeros 2,000 metros, sobre todo en el primer kilómetro (Gil y Olcina, 1999, pp. 46-47).

Al referirse al agua atmosférica, en cualquiera de sus estados, apuntan que es necesario recordar “la extraordinaria capacidad de absorción de calor que posee el vapor de agua y su extraordinario protagonismo como regulador térmico” (Gil y Olcina, 1999, p. 79):

El agua se incorpora a la masa atmosférica a través del proceso de evaporación o evapotranspiración, que permite romper la cohesión molecular del agua y ello requiere trabajo, y, por ende, energía, normalmente 600 cal/gramo de agua evaporada. Ese calor queda almacenado como energía latente y cumple un papel de primer orden en los procesos de estabilidad e inestabilidad atmosféricas, ya que es liberado al producirse la condensación; éste es el proceso que habitualmente, pero no de manera necesaria, sigue a la saturación. (Gil y Olcina, 1999, pp. 81-82).

Al hablar de los factores de temperatura o térmicos explican que unos poseen carácter intrínseco, es decir, son propios del lugar considerado, en tanto que otros son de procedencia externa. Se consideran condicionantes básicos de las temperaturas los siguientes: altura del sol e insolación, relieve, naturaleza de la superficie receptora (calor específico, albedo, capacidad de transferencia calorífica), corrientes marinas (se estima que el 40 % de la transferencia energética desde las regiones intertropicales hacia latitudes superiores se efectúa por medio de estas corrientes) y masas de aire, siendo estas el factor extrínseco de mayor trascendencia para las temperaturas, así, según su hogar o fuente se denominan árticas, antárticas, polares (marítimo y continental) y tropicales (marítimo y continental) (Gil y Olcina, 1999, pp. 58-72).

Garduño indica que el clima no sólo actúa en la parte gaseosa de la Tierra, ya que la componente líquida del planeta también lo es del sistema climático: atmósfera y océano intercambian calor, agua e ímpetu (o movimiento). De hecho, apunta, “el océano es el principal regulador del clima”:

éste no se calienta (o enfría) si previamente [el océano] no está caliente (o frío). En el ciclo anual esto es fácil de ver; el Sol es la fuente primordial de calor y el día que menos radiación recibe el hemisferio norte es el 21 de diciembre; pero ese no es el día más frío del año; las temperaturas más bajas se registran hasta fines de enero. El océano es la causa de este retraso de un mes en la respuesta del clima al Sol, pues tiene que perder el calor ganado en verano para que el clima se enfríe y esto le lleva aproximadamente un mes. Análogamente sucede en la época de calor; el día que más radiación recibe este hemisferio es el 21 de junio y los días más calurosos del año se presentan (normalmente) hasta que el océano reacciona, un mes después. A esta propiedad de resistirse al cambio de temperatura se llama inercia térmica o capacidad calorífica. (Garduño, 2003, p. 22).

Subraya que el sistema climático está constituido por gran cantidad de parámetros, variables e interacciones. El clima tiene lugar en la atmósfera, el océano y los continentes, incluyendo su cubierta vegetal, y también en la *criosfera*, que es la capa de hielo y nieve que cubre parcialmente océanos y continentes (para que crezca, explica, la temperatura debe descender hasta el punto de congelación; pero esto no basta, sobre el continente se requiere también agua, es decir, precipitación, para que se emplace hielo y nieve) (Garduño, 2003, pp. 24-26).

El Sol es “el motor del clima”, prosigue, su calor llega al planeta en forma de radiación y esto acciona a “la gran máquina térmica que es el sistema climático”:

La cantidad de rayos solares que llega al tope de la atmósfera depende de la latitud (distancia angular al ecuador) y la época del año. De esta radiación incidente, una porción es reflejada hacia el espacio exterior por la atmósfera y las nubes; otra es captada por estas y la restante alcanza la superficie. De la radiación que llega a la superficie, una parte rebota hacia arriba y el resto es absorbido. De lo reflejado, una fracción se encuentra con las nubes, las cuales capturarán una parte y rebotan el sobrante hacia abajo... Y así sucesivamente [...] Se acostumbra llamar, entre otros nombres, radiación solar a la proveniente del Sol, aun luego de varios rebotes, y radiación terrestre a la

emitida por cualquier elemento del sistema climático (océano, nubes, etc.) —luego de haber sido calentado por la radiación solar que absorbió. (Garduño, 2003, p. 26).

Por lo tanto, continúa *“debemos añadir a la maraña de intercambios radiacionales descrita antes, la correspondiente a la radiación terrestre”* (Garduño, 2003, p. 26). Así, *“puede verse que los procesos radiacionales (llamados también radiativos —no radiactivos) son afectados por la extensión de la criosfera y por la nubosidad, que es la fracción horizontal del cielo cubierto por nubes”* (Garduño, 2003, p. 27).

Más aún, indica que en la interfaz océano-atmósfera ocurren más cosas, como el intercambio vertical de calor (si el agua tiene más temperatura que el aire lo calentará), transporte sensible que no sólo depende de la diferencia (o gradiente) de la temperatura, sino también de la velocidad (horizontal) del viento; proceso que es turbulento y, por lo tanto, difícil de evaluar (Garduño, 2003, p. 28).

Son estas dificultades para evaluar los procesos que definen la temperie y el clima parte de lo que fundamenta la crítica a los modelos y proyecciones del IPCC y, por extensión, a los escenarios catastróficos.

De esta manera, sobre las predicciones climáticas, Toharia (2013) señala que el problema con estas es que para saber si aciertan hay que esperar muchísimos años (decenios). Explica que lo que debe quedar claro es que la temperie es siempre variable, tanto espacial como temporalmente, ya que a cada segundo que pasa y según nos vamos desplazando por el planeta, a veces en distancias muy cortas, todos sus parámetros (temperatura, presión, humedad, viento, etc.) están constantemente cambiando. Pero mientras podemos medir la temperie, el clima debe ser calculado o estimado

en forma de promedio a largo plazo; a partir de los datos numéricos actuales, o bien acudiendo a indicadores de tipo biológico, geográfico e incluso histórico. No es que el clima no exista, pero desde luego no es una realidad tangible, que podamos medir directamente con algún tipo de aparato, sino una especie de realidad virtual... (Toharia, 2013, pp. 297-298).

Precisa que los parámetros del clima también se pueden llegar a calcular, *“si se dispone de suficientes datos numéricos medidos por aparatos meteorológicos con suficiente calidad y continuidad”*:

Entonces se acude a la herramienta estadística con el fin de obtener conclusiones en forma de promedios a largo plazo. Pero aquí la cosa se complica, porque sólo disponemos de datos numéricos en algunos lugares, y para periodos de tiempo no siempre suficientes ni comparables. No existen observatorios en todas partes, y los que ahora están no siempre estuvieron ahí... Son muy pocos los que tienen buenos registros que abarquen, por ejemplo, más de un siglo; apenas un puñado en Europa y en América, y casi ninguno en el resto del mundo. (Toharia, 2013, p. 299).

Advierte que hoy apenas utilizamos unos miles de observatorios en todo el planeta, la mayoría en los países desarrollados: *“Los errores son, sin duda, muy superiores...”* (Toharia, 2013, p. 304).

¿Qué nos dicen estos autores sobre los cambios climáticos y, particularmente, sobre el calentamiento global registrado en los últimos decenios del siglo XX?

Ayllón (2003) comenta que los modelos numéricos elaborados por los climatólogos que participan en programas internacionales de investigación, prevén *“un calentamiento general del planeta si no se toman las medidas adecuadas en el presente para evitar una catástrofe en el futuro”* (p. 19), haciendo referencia al IPCC.

Sobre los cambios climáticos, señala que el clima de la Tierra no ha sido siempre el mismo. Menciona como ejemplo a las glaciaciones de la actual era geológica y las épocas interglaciales por las que ha atravesado el planeta, las cuales *“en algunos periodos llevaron a los mares a un nivel tres metros superior al presente y a temperaturas mayores de 2 a 3 °C de la media actual”* (Ayllón, 2003, p. 191). Estos cambios climáticos, señala, pueden atribuirse a causas naturales y los más recientes a causas antropógenas. Las causas naturales son (resumen):

- *manchas solares: su incremento se relaciona con periodos de temperaturas cálidas y su ausencia con épocas gélidas;*
- *cambio de la órbita de la Tierra respecto del Sol, cambio de la inclinación del eje de rotación y movimiento de precesión (asociado con el cambio de dirección en el espacio que experimenta el eje): la combinación de estos tres “ciclos” hace variar sensiblemente la cantidad de energía solar recibida por la Tierra y su distribución superficial, los periodos glaciales e interglaciales guardan una estrecha relación con estos sucesos astronómicos;*
- *la influencia gravitatoria de la Luna (inclinación del eje respecto a la eclíptica);*
- *lento desplazamiento de los continentes (desde fines del Paleozoico, hace aproximadamente 251 millones de años);*
- *actividad volcánica;*
- *impacto de un cometa o meteorito (fin del Mesozoico y comienzo del Cenozoico, hace aproximadamente 65.5 millones de años);*
- *inversiones magnéticas: cuando la potencia del campo magnético es baja, la atmósfera queda expuesta al viento solar y a las radiaciones cósmicas de alta intensidad y por tanto se altera el clima;*
- *la corriente marina El Niño asociada a la oscilación meridional;*
- *la corriente de chorro (jet stream). (Ayllón, 2003, pp. 195-198).*

Y las causas antropógenas (resumen):

- *incremento en la atmósfera de CO₂, metano, CFC, óxidos de nitrógeno, ozono, etc., los cuales crean un “efecto invernadero”, absorbiendo y reemitiendo a la Tierra las radiaciones de onda larga (infrarroja) que la superficie terrestre refleja hacia la atmósfera. Las fuentes principales de emisión de CO₂ son la actividad industrial y los automotores porque consumen gran cantidad de combustibles fósiles;*
- *deforestación y sobreexplotación de pastos que producen una creciente desertización, así, un suelo desnudo tiene mayor albedo, refleja mayor cantidad de energía que los cubiertos de vegetación, esto provoca la presencia de aire frío sobre la superficie terrestre y aire caliente en las capas superiores;*
- *creciente urbanización: cuando crece la mancha urbana se remplazan tierras de labor, bosques, pastizales y en general áreas de vegetación por fábricas, casas, carreteras, centros comerciales, etc., se altera la temperatura, la humedad, la circulación y composición del aire de esas zonas en forma progresiva; durante la noche en el centro de las ciudades el calor que retienen edificios y pavimentos determina que la temperatura sea mayor entre 1.5 y 2 °C a la campiña que las rodea, se crean “islas de calor”. (Ayllón, 2003, pp. 199-200).*

Señala Ayllón (2003), siguiendo al IPCC, que si aumentara la temperatura se intensificarían los fenómenos meteorológicos adversos y se modificarían las zonas climáticas (p. 202). Cabe destacar, no obstante, la mención de la deforestación y la urbanización (islas de calor).

Por su parte, Garduño (2003) indica que el sistema climático incluye varios procesos que refuerzan o amortiguan las fluctuaciones y los cambios del clima, los cuales se llaman: “mecanismos retroalimentadores o forzamientos internos; cuando su efecto es amplificar se llama retroalimentación positiva, cuando es atenuar se denomina negativa” (p. 61). Estos mecanismos se deben al vapor de agua, a la criosfera y a las nubes; el signo de los dos primeros es positivo, el de las nubes es incierto.

Explica que si los cambios o fluctuaciones climáticas no se refuerzan reiterativamente debido a los mecanismos de retroalimentación positiva (por ejemplo, un aumento de temperatura de modo indefinido), se debe a las siguientes razones:

Primera, porque el efecto se satura; más allá de cierta cantidad de vapor la opacidad atmosférica de onda larga ya no aumenta. Y segunda, porque estas retroalimentaciones no se presentan aisladas del resto de las múltiples interacciones climáticas (principalmente el transporte horizontal de calor, o advección), habiendo, de hecho, mecanismos que actúan al contrario, en particular los de retroalimentación negativa, como tal vez lo sea el de las nubes. (Garduño, 2003, p. 68).

Al hablar de las nubes como mecanismo retroalimentador, pone atención en su gestación y el bloqueo que causan a la radiación solar. Sobre lo segundo, es evidente que cuando está nublado “el paso de la luz y el calor del Sol a la superficie se reduce, y esto enfría el clima”:

Por lo tanto, la nubosidad y la temperatura están relacionadas inversamente cuando la causa es la primera y el efecto la segunda; o sea, la disminución de nubes implica calentamiento del clima y también el aumento de nubes implica enfriamiento del clima; pero este mecanismo no es recíproco: no sabemos si un enfriamiento incrementa o decrementa la nubosidad. Esta incertidumbre de causa-efecto, cuando la causa es la temperatura y el efecto la capa nubosa, es una de las grandes deficiencias del conocimiento físico del clima, y un problema pendiente para la ciencia mundial.

Vamos... A estas alturas del desarrollo científico, los investigadores aún no entendemos bien cómo se forman las nubes y cómo afecta la temperatura ese proceso a gran escala. No sabemos si el calor favorece que se nuble, o al contrario. (Garduño, 2003, pp. 70-71).

Es decir, no se sabe si contribuyen a una retroalimentación positiva (aumenta la temperatura) o negativa (la atenúa). Ciertamente, apunta Garduño (2003), “a escala climática un cambio de temperatura debe alterar la nubosidad y ésta, a su vez, modificar el ingreso de energía solar al sistema, lo cual hace que la temperatura varíe” (p. 72).

Garduño (2003) subraya que dos de las grandes deficiencias de la comprensión científica de la física del clima son el comportamiento del océano y el efecto de la temperatura en la formación de nubes: “ambas constituyen actualmente los puntos más débiles de los modelos climáticos y, por tanto, la mayor fuente de incertidumbre en cálculos como los de efecto invernadero” (p. 72). Comenta que el efecto de las nubes puede ser contrario de un modelo a otro, en el mismo lugar geográfico y época del año; parte del problema, explica, es que no sólo se debe considerar la extensión horizontal de la nubosidad (fracción nublada del cielo), sino la estructura vertical de las nubes, sus diferentes tipos, etc., además de que la condensación no siempre produce nubes (puede ser bruma) y que la nubosidad no siempre trae consigo precipitación o que con esta desaparezcan las nubes (pp. 72-73).

Ahora bien, Garduño también presta atención a las alteraciones antropógenas, piensa que el problema es real, que estamos alterando la composición de la atmósfera por la emisión de “gases de invernadero”:

Es probable un cambio antropógeno del clima y va a costar caro evitarlo o adaptarse a él; es más barato estudiarlo para estar (más) seguros de lo que va a ocurrir. En las próximas décadas puede haber un cambio climático tan fuerte como los que en el pasado geológico tenían lugar en miles de años. Es necesario reforzar las investigaciones del clima: monitorearlo para detectar con certeza sus cambios antropógenos y llegar pronto a un consenso sobre el calentamiento futuro y sus consecuencias. (Garduño, 2003, p. 95).

No obstante, al hablar sobre las variaciones del clima parece contradecirse, restarle importancia al impacto del CO₂. Explica que las variaciones interanuales del clima se llaman fluctuaciones y las que ocurren en plazos de décadas o mayores se denominan cambios, los cuales son más sistemáticos que las fluctuaciones: “el clima varía en todas las escalas de tiempo [...] la temperatura sube y baja continuamente. Reiteramos: lo único constante del clima es su variabilidad, a corto, mediano y largo plazo”

(Garduño, 2003, p. 121). En un año particular algunos meses son más fríos y otros más calientes de lo normal, sucediendo lo mismo con lo seco y lo húmedo, *“esto significa que a lo largo del año las anomalías de temperatura y precipitación fluctúan en magnitud y signo”* (Garduño, 2003, p. 121). Con relación a la década de 1980 indicó que tuvo un aumento mundial sistemático de temperatura, sin embargo:

lo más probable es que esa tendencia no continúe indefinidamente y en el futuro tengamos decenios más fríos; por lo tanto, visto en el contexto de varias décadas, el calor de los ochenta es también fortuito, como las fluctuaciones, pero a otra escala. (Garduño, 2003, pp. 121-122).

Concluye:

Los cambios climáticos que realmente ocurren en la naturaleza son el resultado de varios factores sobrepuestos y simultáneos, nunca aislados. Unos de estos factores se conocen con certeza y exactitud (p. ej. los parámetros orbitales); otros son estables y predecibles dentro de cierta escala de tiempo (la actividad solar, la deriva continental, etc.), y algunos más son inciertos e imprevisibles (erupciones volcánicas, impacto de meteoritos o cometas, guerra nuclear, etc.). Sin embargo, aunque supiéramos exactamente la ocurrencia de todos los factores externos que lo afectan, el diagnóstico y el pronóstico cabales de los cambios del clima son imposibles ahora y en los próximos lustros. La razón de esto es que los modelos fisicomatemáticos, la disponibilidad de datos para alimentarlos y las computadoras para correrlos están subdesarrollados para cumplir tan colosal empresa. (Garduño, 2003, p. 146).

Gil y Olcina (1999) dedican el capítulo 9 de su libro a las *“alteraciones y riesgos climáticos”*, discutiendo las variaciones históricas del clima terrestre y la *“hipótesis actual”* del cambio climático por efecto invernadero antropógeno, cuestión, dicen, que a partir del último cuarto del siglo XX ha recibido mucha atención, donde se discute la contaminación atmosférica y sus secuelas *“concernientes primordialmente a los incrementos de las concentraciones de los llamados gases de efecto invernadero y asimismo a las modificaciones climáticas y de todo tipo que acarrearía una intensificación sustancial de aquel, con el subsiguiente aumento de temperaturas”* (p. 25).

Apuntan que el clima resulta de la complejísima interacción protagonizada por el sol, la superficie terrestre y la atmósfera, *“ante la singular dificultad de concebir un modelo que reproduzca el sistema que, mediante la interrelación de múltiples variables, da origen al clima, resulta obligada una sucinta referencia paleoclimática”* (Gil y Olcina, 1999, p. 251), así, indican, existen pruebas irrefutables de diverso tipo que atestiguan la sucesión de importantes cambios climáticos, con las glaciaciones cuaternarias en primer término. Las condiciones actuales están presentes desde hace 2,800 años, con ciertas variaciones históricas, como la *“Pequeña Edad del Hielo”* entre los siglos XIV y XIX. Estos procesos obedecieron por entero, señalan, a causas naturales.

Los factores más decisivos en la variación tienen relación con el balance energético terrestre *“en especial con las irregularidades que rigen el comportamiento de la actividad solar y con el reparto de la energía solar que, en forma de radiación, alcanza la atmósfera terrestre”*, aunque, aclaran, el vulcanismo y otros factores geográficos son también capaces de influir decisivamente. Haciendo referencia al astrónomo Milutin Milankovitch, hablan de la influencia en los cambios producidos por la inclinación del eje de rotación terrestre respecto del plano de la eclíptica (cuanta mayor inclinación, más extremos se tornan los inviernos y veranos), de la excentricidad de la órbita terrestre y de la precesión o giro en peonza del eje terrestre respecto a la eclíptica (Gil y Olcina, 1999, pp. 252-253).

Apuntan que las variaciones en la radiación solar incidente son capaces de provocar alteraciones notables en la biosfera terrestre, ya que *“una modificación de sólo un 2 % de la intensidad de la radiación solar podría causar un enfriamiento muy acusado en todo el planeta o, en su caso, la fusión total o parcial del hielo acumulado en los casquetes glaciares”* (Gil y Olcina, 1999, p. 253).

Sobre la idea de que a partir de la Revolución Industrial las emisiones de gases favorecidas por el desarrollo industrial, incorporan al sistema climático *“un componente más que, por sí solo, podría explicar la actual variación de las condiciones térmicas del clima terrestre”* (Gil y Olcina, 1999, p. 253), estos autores indicaron que a finales del siglo XX nos encontrábamos en la fase de ascenso de la radiación solar dentro del denominado ciclo solar 23 (que culminó en 2008), lo que les hizo prever un aumento, incluso mayor *“de la temperatura media planetaria durante los próximos años, gases de invernadero, al margen. Y, además, del estudio del comportamiento de las fases glaciares se puede deducir que cabe esperar un nuevo periodo glacial dentro de 2,000 años”* (Gil y Olcina, 1999, p. 253).

Hablan de la confianza que merecen las series térmicas y sus extrapolaciones, si se tiene en cuenta *“la escasa cobertura terrestre y, sobre todo, oceánica de aquéllas, la heterogeneidad del instrumental meteorológico, diversidad de métodos de observación, cambios de emplazamiento de los observatorios y expansión urbana”* (Gil y Olcina, 1999, p. 253), por lo que la fiabilidad *“dista de ser satisfactoria”*. Agregan, sin embargo, que *“los estudios más solventes admiten el aumento global de las temperaturas desde las postrimerías de la centuria anterior, aunque no en idéntica medida”* (Gil y Olcina, 1999, p. 254).

Analizan el *“hipotético cambio climático por la potencia del efecto invernadero a causa de la actividad humana”* (Gil y Olcina, 1999, p. 255), indicando que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera aumentó desde el inicio de la Revolución Industrial casi 30 % y 20 % en el transcurso del siglo XX. Cuestionan que dicho aumento sea consecuencia de la quema de combustibles fósiles:

Las más verosímiles, aparte de la inercia en el proceso de difusión atmosférica, es que la combustión de petróleo y carbón sólo proporciona un porcentaje mínimo de la aportación de CO₂ a la atmósfera, cifrado en el 2.5 %, mientras que el 97.5 % restante procede de los seres vivos que pueblan tierras y mares. Se abre así paso la duda, enteramente razonable, de que la causa de la intensificación del efecto invernadero sea, básicamente, el empleo de las referidas fuentes de energía, subrayándose al respecto que resulta mucho más negativa la incidencia de la deforestación, por menguar el gran sumidero de CO₂ que supone la fotosíntesis. (Gil y Olcina, 1999, p. 256).

De hecho, invitan a analizar con detenimiento, como ya se mencionó, la fiabilidad de los registros térmicos y el impacto del aumento del CO₂ en el incremento de la temperatura:

Datos procedentes de los principales observatorios meteorológicos muestran diferencias de 0.3 a 0.6 °C entre las temperaturas medias de 1990 y 1860. Pero la interpretación de esta desigualdad dista, sin embargo, mucho de ser uniforme, al existir diversas interrogantes. La primera de ellas, como se ha dicho, sobre la propia homogeneidad y fiabilidad de las series. Así, cabe preguntarse si los registros térmicos se han obtenido en igualdad de condiciones o si, por el contrario, al quedar englobados por la expansión urbana observatorios situados con anterioridad en campo abierto, el incremento ha de ser atribuido a la denominada “isla de calor” urbana. Por otra parte, las curvas de temperatura no ofrecen un incremento ininterrumpido, ya que este ha sido inexistente en los intervalos 1860 a 1920 y 1935 a 1965, habiéndose producido los aumentos en los de 1920-1935 y 1965-1995, a pesar de que el crecimiento de la concentración atmosférica de CO₂ ha sido notoriamente regular; ello invita a pensar que estos contrastes térmicos puedan deberse a fluctuaciones enteramente naturales, al margen de la actividad humana. Por tanto, aun admitida la elevación de temperatura, persiste la incertidumbre de su causa, que puede no ser el efecto invernadero antropógeno. (Gil y Olcina, 1999, p. 257).

Advierten que el supuesto del cambio climático es *“tema habitual en los medios de comunicación, de manera que cualquier fenómeno atmosférico más o menos infrecuente suele ser imputado a aquel”* (Gil y Olcina, 1999, p. 257).

Concluyen al respecto:

En suma, nadie cuenta hoy con datos suficientes para concluir que nos hallamos en una fase de cambio climático y, por supuesto, tampoco para responsabilizar del mismo a la actividad humana, por más que esta haya podido tener repercusiones atmosféricas negativas, cuyas secuelas están aún por evaluar con la necesaria precisión. (Gil y Olcina, 1999, p. 259).

Si bien reconocen que resultaría imprudente “minusvalorar el riesgo de que un cambio climático ocasionado por la potenciación artificial e indeseada del efecto invernadero pudiese, enmascarado por fluctuaciones atmosféricas, dejar de ser percibido como tal durante largo tiempo”, destacan la existencia de “múltiples mecanismos de retroacción que pueden intensificar o atenuar” la perturbación inicial. Explican que en los diversos modelos las divergencias resultan francamente notorias e importantes a la hora de ponderar, por ejemplo, la retroacción de las nubes:

con dos incógnitas de tanta trascendencia como la altitud media que haya de atribuirse a las mismas, dado que si aumenta, estas son más transparentes a la radiación solar y asimismo más opacas a la irradiación de la superficie terrestre, y, por otra parte, las propiedades ópticas de aquellas, aún mal conocidas y, por ende, introducidas de modo precario en los modelos. La valoración que merezca la retroacción térmica de las nubes reviste máximo interés; baste señalar que, en virtud de la opción escogida, la entidad de recalentamiento en superficie varía de 1.5 a 4.5 °K. (Gil y Olcina, 1999, p. 259).

También subrayan que la “incidencia de la inmensa masa oceánica y de su circulación constituye otro serio motivo de incertidumbre, ya que los intentos de simulación amplia y profunda resultan muy problemáticos” (Gil y Olcina, 1999, p. 259).

Gil y Olcina (1999) tratan la relación entre actividad solar y las fluctuaciones experimentadas en los elementos climáticos, ya que “cuanto mayor es el brillo solar más radiación de onda corta alcanza a la Tierra y, por tanto, mayor es el calentamiento planetario”; también “a mayor brillo solar mayor emisión de radiación ultravioleta, lo que favorece la producción de ozono en la atmósfera superior” (pp. 259-260) (el ozono también es un gas que retiene la radiación infrarroja).

Destacan estos autores “la estrecha conexión entre la duración de los ciclos de manchas solares y las temperaturas terrestres”, poniendo como ejemplos la escasa actividad solar durante la Pequeña Edad de Hielo y que en el siglo XX el Sol fue menos activo en la década de 1950 y 1960, coincidiendo con un hiato o incluso enfriamiento en el proceso de calentamiento terrestre. Mencionan el estudio del geofísico Eigil Friis-Christensen y el físico Henrik Svensmark, publicado en 1997, donde afirman que “la actividad magnética del Sol es suficiente para explicar el incremento de temperaturas experimentado en la Tierra a lo largo de la última centuria”.

Según estos autores, la radiación cósmica procedente de explosiones estelares influye en la formación de nubes. Durante un ciclo de manchas solares, la radiación cósmica que alcanza la Tierra varía alrededor de 20 % debido a variaciones en el campo magnético terrestre, que actúan como un tipo de escudo protector, desviando la radiación cósmica. El campo magnético terrestre está influido, a su vez, por el magnetismo solar. En el ápice de un ciclo de manchas solares, la Tierra tiene un campo magnético muy fuerte y, por tanto, penetra menos radiación cósmica en su atmósfera. Ello supone una menor nubosidad. (Gil y Olcina, 1999, p. 260).

Añaden que el magnetismo solar aumentó con fuerza a lo largo del siglo XX, favoreciendo una reducción en la cobertura nubosa de la Tierra. Y subrayan, por lo tanto, “la importancia de la actividad solar como responsable último de las fluctuaciones experimentadas por las temperaturas en el último siglo” (Gil y Olcina, 1999, p. 261).

También indican que:

la dinámica de los océanos sigue siendo una gran desconocida en los estudios del clima, tanto en su papel [...] de sumidero de CO₂ como en la respuesta de la circulación de corrientes oceánicas ante un posible aumento térmico provocado por las emisiones antrópicas de gases. (Gil y Olcina, 1999, p. 261).

Es decir, no se comprende:

la importancia del comportamiento oceánico en las variaciones que experimenta a corto y medio plazo el clima terrestre. El ejemplo más significativo de ello son las relaciones entre temperaturas marinas y campos de presión en superficie, conocidas desde comienzos del siglo XX como “oscilaciones”, y cuyo máximo exponente sería el fenómeno ENSO del Pacífico, el famoso “Niño”. (Gil y Olcina, 1999, p. 261).

No obstante, Gil y Olcina (1999) señalan que “a pesar de que, como se ha indicado, los interrogantes pendientes de respuesta son muchos y muy relevantes, la mayor parte de los modelos coinciden básicamente en las consecuencias que podrían derivarse del recalentamiento de la atmósfera” (p. 262), por lo que:

se desprende la necesidad de obtener una evaluación precisa de la repercusión climática de los denominados “gases invernadero”, mejorando el conocimiento de las referidas retroacciones y perfeccionando los complejos modelos que pretenden acoplar la intensificación antropógena del efecto invernadero con las circulaciones atmosféricas general y oceánica. (p. 262).

Para cerrar lo dicho por Gil y Olcina (1999), vale la pena rescatar lo que mencionan sobre sucesos atmosféricos extraordinarios, ya que los medios (y ecologistas radicales y algunos políticos, agregó) suelen relacionarlos con el “cambio climático”, lo cual tiene que ver con el manejo del riesgo y la ocupación y ordenación del territorio:

Aunque no faltan antecedentes, el esfuerzo por indagar las causas y efectos de los acontecimientos atmosféricos extraordinarios es relativamente reciente, pese a que estos hechos han condicionado, históricamente, la vida de los pueblos. El carácter catastrófico de los mismos obedece, por lo general, a inadecuadas actuaciones humanas sobre el territorio, debidas, en unos casos, a motivos de supervivencia (ocupación de llanos de inundación en países tropicales y monzónicos para aprovechamiento agrario) y, en otros, a intereses económicos que minusvaloran, enmascaran o, simplemente, desconocen riesgos naturales. (Gil y Olcina, 1999, p. 266).

Toharia (2013) explica que 234 W/m² (de 1,366 W/m²) de energía solar penetran hacia el interior del planeta, una pequeña parte es absorbida por las nubes, otra más grande es absorbida por el propio aire y, finalmente, lo que llega a la superficie terrestre es menos del 30 % de la energía solar incidente; de esa energía, dos tercios son absorbidos por el agua y el suelo, y el tercio restante se irradia de nuevo al espacio:

De ese complejo balance dependen todos los intercambios energéticos del planeta. Y, por supuesto, todos los fenómenos meteorológicos. Sin embargo, no somos capaces de determinar con un mínimo de precisión las muchas variaciones, pequeñas o grandes, que sufren tan complejas interacciones. Ni mucho menos sabemos predecir de qué modo van a variar en el futuro, ni podemos averiguar cómo variaron en el pasado; a pesar de que parece obvio que su influencia sobre los

cambios de clima del pasado, y los que vengan en el futuro, no puede ser más relevante. (Toharia, 2013, p. 127).

Apunta que con relación a los cambios climáticos, la cuantificación del balance del agua, en estado gaseoso, líquido o sólido, es uno de los retos más importantes a los que se enfrentan los científicos. Explica que el vapor de agua en el aire es extremadamente variable, entre 0 y hasta un 4 % del total, esta gran diferencia *“impide ofrecer una cifra media que represente la humedad global del planeta”*, lo cual se complica aún más porque durante la quema de combustibles de origen fósil además de dióxido de carbono y otros productos también se produce vapor de agua (Toharia, 2013, p. 166).

Sobre las nubes, indica que nuestro planeta, globalmente considerado, tiene más nubes que cielo despejado, alrededor de dos tercios de su superficie, en promedio, está permanentemente cubierta de nubes. Teniendo en cuenta el efecto de estas sobre las temperaturas señala que:

parece esencial disponer de algún tipo de información acerca de la evolución pasada de esa nubosidad global del planeta, con el fin de intentar predecir qué pasará en el futuro. De momento, los modelos informáticos usados para predicciones de cambio climático no saben muy bien cómo abordar esta cuestión, a pesar de su trascendencia. (Toharia, 2013, p. 244).

Cuestiona que el cambio climático se plantee como algo negativo, *“sin matices, sin ninguna concesión mínimamente positiva”*, ya que en el mundo hay muchos climas, algunos muy distintos entre sí, y no sólo uno, siendo errónea la idea de un único cambio climático global. Agrega que los climas que existen en la Tierra ya cambiaron antes, siguen cambiando actualmente y seguirán haciéndolo (Toharia, 2013, p. 316).

Explica que hace mucho más daño en el día a día el extremo meteorológico respecto a la media, aunque sea en periodos breves de tiempo, que el cambio más o menos progresivo de los promedios, en otras palabras: *“los cambios meteorológicos, incluso los más ‘normales’, son peores que los cambios climatológicos”* (Toharia, 2013, p. 331). De hecho, añade, durante las tendencias climáticas cálidas o frías siempre puede haber años excepcionales que contradigan lo que el promedio, y eso afecta muchísimo más a la vida de las personas que la tendencia misma hacia el calentamiento o el enfriamiento. Siguiendo esto, sostiene que los periodos más dañinos, a largo plazo, han sido siempre los fríos, no los cálidos: *“La bonanza —siempre relativa por la época que era— del clima medieval [...] contrasta con las grandes hambrunas ligadas al frío reinante en la Pequeña Edad del Hielo, a finales del siglo XVII”* (Toharia, 2013, p. 331).

Toharia (2013) hace un análisis de los climas de los dos últimos milenios. Indica que se registró un enfriamiento entre los años 300 a 700. Las temperaturas volvieron a subir a finales del siglo VIII, con *“cierta brusquedad en toda Europa”* (Toharia, 2013, p. 333), hasta alcanzar el denominado Óptimo Medieval (también conocido como Periodo Cálido Medieval, caracterizado por un clima templado) entre los años 900 y 1300. A partir del siglo XIV las temperaturas comenzaron a retroceder hasta alcanzar en el siglo XVII y buena parte del XVIII la Pequeña Edad de Hielo (1580 a 1820), en esos siglos se dieron con frecuencia *“sucesos meteorológicos terribles y auténticas catástrofes climáticas destructivas que no se habían dado en el Óptimo Medieval”* (Toharia, 2013, p. 334), de hecho ya en el siglo XV el tiempo se muestra con grandes oscilaciones. Comenta que en la Pequeña Edad del Hielo se registraron climas más fríos que los actuales. Si bien cuando comenzó el siglo XVIII los climas se hicieron menos crudos, se mantuvieron fríos, pero entre 1709 y 1716 reaparecieron los años gélidos. En las últimas décadas de ese siglo se volvieron a templar los climas (Toharia, 2013, pp. 333-338).

El periodo de transición entre la Pequeña Edad de Hielo y el calentamiento actual lo denomina *“climas modernos”* (de 1821 a 1977); así, durante el siglo XIX y hasta 1910 los climas mostraron un promedio oscilante, con temperaturas medias bastante superiores a las que hubo entre 1800 y 1820; a partir de 1857 se dan 20 años de calentamiento sostenido y finalmente, a partir de 1892 y hasta 1940, las temperaturas mantienen un incremento constante, que se hace más significativo a partir de 1910. Ante esto,

afirma que “el calentamiento no es algo reciente” sino que, como tendencia global, sin duda comenzó “en el inicio del siglo XIX, tras los rigores de la Pequeña Edad de Hielo” (Toharia, 2013, p. 339). Apunta que la subida de temperaturas se detuvo hacia el año 1940 prácticamente en todas partes, después vinieron casi 4 décadas de estancamiento térmico e, incluso, de descenso de temperaturas en muchas regiones del mundo, aunque no excesivo. Señala que no existe una explicación convincente acerca del porqué de este largo paréntesis en el calentamiento (Toharia, 2013, pp. 338-343).

En el análisis de los “climas actuales” (1978 al 2012) señala que el periodo reciente de calentamiento se inicia a finales de la década de 1970, aunque distingue dos periodos, los 20 primeros años, de calentamiento sostenido, y los últimos 15, desde 1998 hasta 2012, cuando se detuvo la subida (Toharia, 2013, p. 344). Persistiendo esto hasta 2016 (datos hasta agosto), cabe añadir, con un aumento ese año y en 2015 debido a El Niño (como fue en 1997-1998 y 2009-2010) (Gráfica 1).

Gráfica 1. Temperatura media global.

Fuente: Elaboración propia con datos de Remote Sensing Systems (2016).

Comenta Toharia (2013):

A finales de los ochenta y en los años noventa el cambio climático y el calentamiento global comienzan a hacerse populares y generan una preocupación general. Curiosamente apenas se llevaba un decenio midiendo el citado calentamiento, lo que es un plazo muy breve para hablar de clima (p. 344).

Cuestiona la relación entre el aumento del dióxido de carbono y el comportamiento de las temperaturas y si el incremento de estas ha generado catástrofes, ya que durante las décadas de 1950, 1960 y 1970 el dióxido de carbono aumentó, debido al mayor consumo de carbón y petróleo, pero las temperaturas cayeron; en las siguientes tres décadas, el CO₂ siguió subiendo, pero si bien las temperaturas también lo hicieron, se han estancado en el siglo XXI. Señala que el aumento de la temperatura promedio global en el siglo XX fue de alrededor de 0.6-0.7 °C y que esto no propició catástrofes atmosféricas ni en mayor número ni con más intensidad en comparación con periodos anteriores (Toharia, 2013, p. 345).

Explica que:

El problema esencial que tienen los conceptos de tipo global es que se aplican al promedio de todo el planeta. Lo que indudablemente oculta muchos errores debido a que quedan fuera del promedio

global numerosos detalles sustanciales en las dimensiones de menor escala. La Tierra es muy grande, como es la variedad de sus parámetros geográficos —los factores del clima— y la distribución de sus parámetros atmosféricos —los elementos del clima—. Por eso los promedios, que parecen decir mucho, pueden en muchas ocasiones no significar absolutamente nada. (Toharia, 2013, p. 364).

Toharia (2013) duda de la calidad estadística *“de una serie que mezcla datos reales medidos con termómetros y datos numéricos estimados mediante proxies”* (p. 375), que es información *“puramente histórica y descriptiva”* (p. 376), aproximaciones numéricas, virtuales. De esta manera, se concentra especialmente en los modelos empleados para hacer predicciones climáticas, apuntando que las *“poderosas máquinas informáticas”* siguen enfrentándose a un reto colosal debido a la *“inmensa complejidad del sistema atmosférico y sus relaciones con el suelo, los mares, la alta atmósfera, la radiación solar, incluso la radiación galáctica...”* (p. 143). Añade que sólo podemos emitir conjeturas, partiendo de lo que ocurre actualmente y apoyándonos en los conocimientos geológicos sobre el pasado de la Tierra (p. 149).

Considera que en los mismos modelos matemáticos está el límite de la predictibilidad, ya que siguen siendo *“demasiado susceptibles al caos, de modo que su funcionamiento, y sus resultados, apenas son válidos más que para unos cuantos días, en meteorología”*, mientras que con la verificación de los modelos del clima las predicciones *“a muchos decenios vista no podremos verificarlos nunca”*. Los modelos matemáticos *“toman datos estimados con mucha incertidumbre, en cantidad y calidad insuficientes y poco representativos del conjunto del planeta”*, además de la simplificación de las ecuaciones matemáticas con fines de cálculo en los ordenadores actuales. Con la predicción de los cambios climáticos del futuro, comenta, ocurre lo mismo que con cualquier predicción que se hace: es necesario conocer con precisión la evolución de un gran número de variables, su forma de cambiar con el tiempo y el resultado de todos esos desarrollos en diversos momentos (Toharia, 2013, pp. 379-380). No obstante, sostiene que *“no tenemos demasiada idea de cómo serán los climas futuros excepto que, en esencia, seguirán pareciéndose mucho, a grandes rasgos, a los actuales”* (p. 381), algo más cálidos o no, más secos o no, pero muy similares.

Se termina aquí la presentación de conceptos relacionados con el estudio y pronóstico de la tempe-
rie y el clima. Sirvan estos para analizar lo dicho por el IPCC y sus divulgadores y el otro paradigma climático, que se presenta en el siguiente capítulo.

V. Albedo

En este capítulo se presenta el otro paradigma climático, el cual aporta elementos para cuestionar el discurso elaborado por el IPCC, que sostiene, como hemos visto, que el aumento de los gases de efecto invernadero, particularmente el CO_2 , por la combustión de carbón y petróleo, aumentará la temperatura del planeta, lo cual traerá consecuencias catastróficas.

Se expone lo dicho por diferentes autores siguiendo un orden cronológico descendente, de la presente década (2011-2015) a la de 1950, para hacer un breve resumen de voces científicas que manifiestan o manifestaron dudas sobre la posibilidad de que el aumento del CO_2 afecte negativamente el clima de la Tierra. El orden descendente se hace para que el lector vea la evolución del discurso y juzgue si hay coherencia en lo dicho, teniendo en cuenta la descalificación (negacionistas) que se hace a los que critican al IPCC.

Se cierra haciendo una síntesis de algunos de los conceptos que definen el otro paradigma climático, incluyendo entre ellos lo expresado por el meteorólogo Vicente Barros, miembro y autor líder del IPCC, quien aporta información para dudar de la catástrofe que promueve.

Como vimos en el capítulo II, Carl Sagan en *Cosmos* planteó la pregunta de si estábamos empujando el ambiente de la Tierra hacia el “infierno” planetario de Venus, debido al aumento del llamado “efecto invernadero” por la creciente emisión de dióxido de carbono, o la eterna era glacial de Marte, debido al aumento del efecto albedo (menor absorción de calor) por el aclaramiento de la superficie como consecuencia de la deforestación y desertización causadas por el ser humano. Entonces Sagan indicó que el estudio del clima global estaba en sus primeras fases de desarrollo y que las consecuencias a largo plazo eran en su mayor parte desconocidas (Sagan, 1982, p. 103). Sin embargo, en *Un punto azul pálido* (1995) ya no exploró la hipótesis del efecto albedo, se concentró en divulgar la idea del calentamiento global causado por la civilización industrial y la imagen del “infierno” venusiano.

Es precisamente el ignorado efecto albedo lo que permite cuestionar con solidez la idea del cambio climático catastrófico de origen humano. Como en el caso de los invernaderos, la observación y el sentido común ayudan a entender. Pero profundicemos un poco más sobre lo que es el albedo antes de comenzar con la revisión del otro paradigma o discurso climático.

Albedo, dice Garduño (2003), es *“la fracción de la radiación incidente que refleja una superficie”*; etimológicamente significa “blancura”. Precisa que: *“sólo la parte absorbida de la radiación calienta a un cuerpo; ni lo reflejado ni lo transmitido lo hacen. Por lo tanto, entre menor sea su albedo (blancura), un cuerpo que recibe radiación eleva más su temperatura”* (p. 25). El albedo planetario está determinado por lo que existe en la atmósfera (nubes bajas, aerosoles, polvo, cenizas volcánicas) y por las características de la superficie, la cual presenta diferentes albedos según su naturaleza: el hielo tiene el mayor (hasta 80 %) y el océano el menor (hasta 6 %) (Garduño, 2003, pp. 25-28).

La pregunta que se debe plantear es si disminuyó el albedo del planeta a finales del siglo XX, si al comenzar el siglo XXI ha aumentado ligeramente y si aumentará más (o considerablemente más) en las próximas décadas, lo cual traería como consecuencia la caída de la temperatura media global, no su incremento. Así, el IPCC estaría equivocado y no habría un apocalipsis climático. Aunque el enfriamiento, si este es pronunciado, podría generar otro tipo de complicaciones, no discutidas por el IPCC.

Uno de los autores líderes, quizá el más importante, en la crítica al discurso climático catastrofista es Singer (citado en el capítulo II), quien lleva al menos 45 años manifestando dudas sobre la idea de que el aumento del CO₂ atmosférico provocará un calentamiento del planeta. Los últimos años ha coordinado la publicación de un reporte científico como respuesta a los Informes del IPCC, del que se comentará algo más adelante. A continuación se exponen algunas de sus ideas más recientes (2014, 2015). Cabe aclarar que fueron tomadas de un medio de opinión (*American Thinker*), no de un libro o revista científica (cuyos artículos son revisados por otros científicos expertos en el tema), esto con la intención de comparar su pensamiento más reciente con un artículo también de su autoría, este sí científico, publicado en 1970 (del que se tomó la cita del capítulo II).

Algunos cuestionan la ideología política de este personaje (conservador) y su relación con la industria petrolera, ya que ocupó cargos técnicos en el gobierno de Estados Unidos cuando ese país fue gobernado por el Partido Republicano en diferentes periodos durante la segunda mitad del siglo XX, ha sido consultor de petroleras y otras grandes corporaciones y ha colaborado o trabajado con organizaciones de corte neoliberal, como el Instituto Heartland (que encabeza en Estados Unidos la crítica al IPCC). Pero también ha tenido una carrera destacada como académico e investigador y aquí es lo que interesa señalar: es profesor emérito de la Universidad de Virginia, fue director del Centro de Física Atmosférica y Espacial de la Universidad de Maryland, fue el fundador de la Escuela de Ciencias Ambientales y Planetarias de la Universidad de Miami, es experto en teledetección y satélites (trabajó en el desarrollo de los primeros satélites de observación de la Tierra; de hecho propuso al finalizar la década de 1960 crear un satélite climatológico para medir la energía radiada por el planeta hacia el espacio), además de ser miembro de sociedades científicas. Su conocimiento de los procesos atmosféricos, climáticos y planetarios es innegable.

En uno de sus últimos artículos de opinión, Singer expresa preocupación por el enfriamiento que podría experimentar el planeta en las próximas décadas, esto debido a la periodicidad de las etapas frías causadas por la menor actividad solar (como la Pequeña Edad de Hielo). Propone que a través de la geoingeniería se haga frente al problema creando nubes altas, las cuales calientan el planeta. ¿Y el impacto del aumento del CO₂? Indica que el forzamiento de este gas parece en gran parte compensado por la retroalimentación negativa de la atmósfera y que, en todo caso, está en buena medida saturado espectroscópicamente, es decir, ya no puede absorber más calor, debido al vapor de agua y al propio CO₂ (Singer, 2015) (como ya lo vimos con Garduño en el capítulo anterior).

Singer no habla de un calentamiento, sino de un enfriamiento global. Y así como se criticó la idea de que se proponga utilizar la ingeniería del clima para enfriar el planeta, también se critica la idea expuesta por Singer de emplearla para calentarlo, y por las mismas razones: la temperie y el clima son impredecibles, las consecuencias pueden ser peores del problema que se pretende evitar.

Con relación al no aumento de la temperatura media global registrado en lo que va del siglo XXI, Singer señala que esto no fue predicho por los Modelos de Circulación General del IPCC (los cuales están basados en el incremento del dióxido de carbono), por lo tanto, afirma, ninguno de esos invalidados modelos puede predecir el futuro del clima y no deben ser usados para ello; tampoco deben ser fundamento para decisiones políticas (Singer, 2014c).

Señala que el IPCC ve una huella climática humana en todas partes porque es lo que está buscando, no tiene el mandato de considerar otras causas, como las naturales, relacionadas con los cambios solares y los ciclos de circulación oceánica. Apunta que la disparidad entre los modelos y las observaciones es notable, lo cual ilustra muy bien la más importante fuente del desacuerdo científico, entre quienes se apoyan en los cálculos de los modelos y los que se apoyan en las observaciones (Singer, 2014b).

Plantea la necesidad de hacer un cambio de paradigma sobre qué o quién causa los actuales cambios climáticos: toda la evidencia sugiere que la naturaleza controla el clima, no el ser humano. Apunta que este cambio de visión sería un punto de inflexión en la historia de la ciencia del clima, ya que haría una enorme diferencia en la política climática: ¿debemos intentar mitigar el calentamiento global, a un precio alto, o sólo debemos adaptarnos a los cambios naturales? Recuerda que estos puntos de inflexión o cambios de paradigma son frecuentes en la ciencia (pone como ejemplos las teorías del Big Bang y de la deriva continental) (Singer, 2014a).

Hasta aquí la opinión de Singer.

Con relación al reporte que preparó dirigiendo junto con el geógrafo Craig Idso, el físico Sherwood Idso y el geólogo Robert Carter a un equipo de decenas de científicos agrupados en el Panel No Gubernamental Internacional sobre Cambio Climático (NIPCC, por sus siglas en inglés, *Nongovernmental International Panel on Climate Change*), el cual lleva por título *Climate Change Reconsidered* (El cambio climático reconsiderado) (2013, 2014), presenta una revisión de artículos publicados en revistas científicas (cabe añadir que este es el segundo reporte que prepara el NIPCC, el primero fue presentado en 2009). Según este Panel, su trabajo provee:

el balance científico que está perdido en los reportes demasiado alarmistas del IPCC, que son altamente selectivos en su revisión de la ciencia del clima y controversiales en relación con sus proyecciones del futuro cambio climático. Aunque el IPCC afirma ser imparcial y que ha basado sus evaluaciones en la mejor ciencia disponible, hemos encontrado que esto no es así. En muchos casos las conclusiones han sido seriamente exageradas, hechos relevantes han sido distorsionados y estudios científicos clave han sido ignorados. (Idso, Idso, Carter y Singer, 2013, p. 1).

Apunta el NIPCC que puso especial atención a contribuciones que contienen datos, discusión o implicaciones que argumentan contra la afirmación del IPCC de que un calentamiento global peligroso está resultando, o resultará, de la emisión de gases de efecto invernadero relacionada con las actividades humanas. Sostiene que el IPCC ha exagerado el nivel de calentamiento que se producirá en respuesta a futuros incrementos del dióxido de carbono atmosférico. Subraya que cualquier calentamiento que pueda ocurrir probablemente será modesto y no causará daño neto al ambiente global o al bienestar humano (Idso et al., 2013, p. 1).

Climate Change Reconsidered dibuja un escenario radicalmente diferente al del IPCC. Lejos del apocalipsis climático identifica pocos aspectos negativos en el aumento de CO₂ y de las temperaturas. ¿Se equivoca el NIPCC? ¿Es su reporte científicamente válido? ¿O se equivoca el IPCC? ¿Ambos tienen aciertos y fallas? ¿Quién puede dar una opinión “objetiva” o “neutral” al respecto?

Bajo esta perspectiva, el NIPCC representa lo que se puede considerar el otro paradigma climático. Por la extensión de su reporte, un resumen de esta obra es suficiente para introducir al lector en este otro modelo. Se presenta en el Anexo 2 los resúmenes ejecutivos de los volúmenes donde tratan, respectivamente, la ciencia física (2013) y los impactos biológicos (2014).

Ahora bien, considerando la polémica existente, se expondrán otros autores para aportar más elementos.

Retomando a Toharia, se presentan otros fragmentos de su amplio análisis del problema. Dentro de lo que discute hace una precisión importante sobre el vapor de agua. Indica que muchos expertos opinan que es irrelevante su influencia extra sobre el conjunto del “efecto invernadero” porque se compensan sus efectos positivos y negativos, ya que su presencia es “natural”, sin embargo, señala que cuando quemamos hidrocarburos por cada molécula producida de CO₂ aparecen dos moléculas de H₂O, las cuales son liberadas por el ser humano (Toharia, 2013, pp. 449-500), así que el vapor de agua aumenta más su presencia (que varía entre 36 y 70 %, cuando el CO₂ no pasa de 26 %). Más aún, añade, su espectro de absorción —considerando la zona de absorción, la potencia absorbida según la longitud de onda y la proporción en que se encuentran los gases en el aire— es como mínimo cuatro veces más eficaz que el CO₂ (Toharia, 2013, pp. 449-452):

Por eso suele decirse que de los 33 grados que supone la existencia del efecto invernadero en la Tierra sobre un planeta sin esos gases, al menos 23 o 24 grados se deben al vapor de agua, unos 6 grados al CO₂, y el resto —entre 3 y 4 °C— se lo repartirían los demás gases invernadero. (Toharia, 2013, p. 452).

Así, aunque los demás gases del “efecto invernadero” desapareciesen, no se perdería el calor de la atmósfera de la Tierra (Toharia, 2013, p. 449).

Comenta también sobre el papel de las nubes, indicando que si estas incrementan el albedo del planeta en un 15 % supone el bloqueo de una cantidad de radiación solar de alrededor de 50 W/m², pero si se considera la retención del infrarrojo por la misma nubosidad, se perderían efectivamente alrededor de 20 W/m², *“o sea, que las nubes frenan el efecto invernadero; y a más nubes, menos calentamiento”* (Toharia, 2013, p. 505).

También reconoce la importancia de la actividad solar, preguntándose sobre en qué puede ayudarnos el conocimiento de los diversos ciclos solares para realizar algún tipo de predicción climática, ya sea a medio o largo plazo. Apunta que la influencia solar directa (o forzamiento radiativo) suele despreciarse debido a la escasa variación de la radiación durante los mínimos y máximos de los diversos ciclos, sólo 0.2 %, *“muy poca cosa como para explicar un cambio climático generalizado”* (Toharia, 2013, pp. 522), pero si el efecto fuese indirecto, como el sugerido por Friss-Christensen y Svensmark relacionado con el magnetismo solar, los rayos cósmicos y las variaciones de la nubosidad (ver capítulo IV), el asunto sería *“bastante diferente”* (Toharia, 2013, pp. 522-524).

Sobre las corrientes marinas, indica que *“apenas comenzamos a atisbar la inmensa magnitud de este tipo de periodos”*, refiriéndose a la Oscilación Sur El Niño, la Oscilación del Atlántico Norte, la Oscilación Atlántica Multidecenal, la Oscilación Decenal del Pacífico y la Oscilación del Pacífico Norte, las cuales *“afectan a los más extensos mares del mundo y que pudieran tener tanta influencia en los climas como el propio efecto invernadero, si no más”*. Pero añade que los modelos de predicción climática *“no los tienen en cuenta... por puro desconocimiento”* (Toharia, 2013, p. 527):

De hecho, tenemos muy poca idea al respecto; además, el agua no sólo es mil veces más densa que el aire, sino que, como sabemos, posee una muy superior capacidad calorífica. Por eso sus movimientos de desplazamientos y también sus intercambios térmicos son mucho más lentos, pero de efectos más duraderos y generalizados [...]

Queda claro que los mares recirculan la energía que, obviamente, sólo pueden recibir... del Sol. (Toharia, 2013, pp. 532-533).

En suma, apunta, que *“sabemos con seguridad muy pocas cosas”*:

Digan lo que digan todos los informes del IPCC. Y todo lo que no hemos citado en las líneas precedentes lo conocemos mal o, simplemente, lo ignoramos. Y eso genera una notable incertidumbre en cuanto a las causas y las consecuencias, ligada a las incertidumbres que rodean a los datos pasados o actuales, y a las que son inherentes a los modelos de predicción. (Toharia, 2013, p. 458).

Otro meteorólogo que aporta información crítica es Roy Spencer. En el libro *The Great Global Warming Blunder* (La gran equivocación del calentamiento global —también se podría traducir como La gran metida de pata... o La gran pifia...) (publicado originalmente en 2010 y con una segunda edición en 2012) expone ideas para explicar el cambio climático. Antes de presentarlo, retomaré algunos conceptos de otro libro de su autoría, *Climate Confusion* (Confusión climática) (2008), que servirán como una introducción a su pensamiento.

Spencer (2008) señala que es la segunda ley de la termodinámica (aumento de la entropía) el principio esencial que rige la sensibilidad climática: el propósito fundamental del complejo sistema climático —del que realmente sabemos muy poco, apunta— es deshacerse del exceso de calor (pp. 76-77).

Sugiere una perspectiva alternativa, más “optimista” del calentamiento global, en la cual el calentamiento sería relativamente benigno porque el sistema climático tiende a estabilizarse a sí mismo contra la influencia del aumento de calor debido al incremento de la concentración de los gases de efecto invernadero (Spencer, 2008, p. 77).

Explica que la cantidad de luz solar absorbida, la radiación infrarroja emitida y la intensidad del efecto invernadero no son cantidades estáticas autoexistentes, están en buena medida bajo el control de los procesos meteorológicos, los cuales determinan cuánta de la luz solar disponible utilizará el sistema climático. Spencer piensa que la Tierra tiene un sistema de control termostático, este es la precipitación:

Cuando reflexionamos sobre los procesos internos que controlan el efecto invernadero natural de la Tierra, la cantidad de nubes y la temperatura, encontramos que casi todos ellos pueden rastrearse al comportamiento de los sistemas de precipitación. Estos sistemas determinan cuánto vapor de agua, nuestro principal gas de efecto invernadero, es removido de la atmósfera y por lo tanto cuánto quedará para cubrir la Tierra. (Spencer, 2008, p. 78).

Estos sistemas influyen en la cantidad y tipos de nubes a través del control de la estructura vertical de la temperatura de la atmósfera, la cual ayuda indirectamente a controlar la formación de la mayoría de las nubes, y estas, a su vez, determinan cuánta luz solar podrá alcanzar la superficie (Spencer, 2008, pp. 78-79).

En *The Great Global Warming Blunder* trata más a detalle aspectos del clima, donde sostiene, como sus principales aportes, que el sistema climático es mucho menos sensible a nuestra emisión de gases de “efecto invernadero”, yendo así en contra de lo que la mayoría de los expertos aseguran, y que este sistema es en sí mismo el responsable del calentamiento que hemos visto en los últimos 100 años: “el cambio del clima es simplemente lo que hace el sistema climático” (Spencer, 2012, pp. xi-xii). El origen del “caos climático” o variabilidad generada dentro del mismo sistema climático, de manera natural, son las nubes (Spencer, 2012, p. xviii). Lo más importante del proceso de calentamiento global son las retroalimentaciones: “La Tierra es mucho más resiliente de lo que la mayoría de los científicos pretende” (Spencer, 2012, p. xxi).

Indica Spencer (2012) que:

El impacto climático más probable de un cambio en los patrones meteorológicos es su potencial para cambiar la cubierta global promedio de las nubes. Esto alteraría la cantidad de energía solar que absorben los océanos, lo que entonces causaría un calentamiento o enfriamiento global. (p. 19).

Y añade:

Un calentamiento global ocurrirá si la cantidad de luz solar absorbida por la Tierra se incrementa (por ejemplo, debido a una menor cubierta de nubes bajas) o si la cantidad de radiación infrarroja emitida (perdida) al espacio decrece (por ejemplo, debido a más gases de efecto invernadero, más vapor de agua o una mayor cubierta de nubes altas).

Un enfriamiento global ocurrirá si la cantidad de luz solar absorbida por la Tierra decrece (por ejemplo, debido a una mayor cubierta de nubes bajas) o si la cantidad de radiación infrarroja emitida al espacio se incrementa (por ejemplo, debido a menos gases de efecto invernadero, menos vapor de agua o una menor cubierta de nubes altas).

Estos cambios no tienen que ocurrir sobre toda la Tierra, sólo sobre regiones suficientemente grandes ya sea para afectar sustancialmente el promedio global o para provocar que los sistemas meteorológicos globales expandan la influencia de estos cambios regionales para cubrir también otras regiones. (p. 43).

Señala que los instrumentos de los satélites no tienen aún la precisión absoluta para medir desde la órbita de la Tierra el pequeño desequilibrio que se cree existe debido a más dióxido de carbono en la atmósfera, *“así que no podemos medir directamente el mecanismo que supuestamente causa el calentamiento global”* (Spencer, 2012, p. 48).

Añade que el punto crucial de la pregunta más importante que aún existe en la investigación sobre este tema es conocer *“cuáles son las retroalimentaciones reales en la naturaleza”*. La respuesta determinará si el ser humano ahora controla el clima, por la emisión de gases de efecto invernadero, o si el impacto de la humanidad es sólo *“una pequeña protuberancia en el largo camino montañoso de la variabilidad natural del clima”* (Spencer, 2012, p. 63). Indica que las estimaciones de los cambios de la temperatura del pasado son mejores que las estimaciones de los forzamientos que las causaron, *“y medir un cambio de temperatura sin conocer lo que lo forzó es la fórmula perfecta para diagnosticar erróneamente una retroalimentación positiva”* (Spencer, 2012, p. 68):

Un cambio de temperatura puede ser causado tanto por un forzamiento débil que está siendo amplificado por una retroalimentación positiva, o por un forzamiento fuerte que está siendo reducido por una retroalimentación negativa [...] Vemos evidencia de un cambio de temperatura, pero a menudo no sabemos lo que lo causó. Esto sólo es un paso para asumir que debió haber sido causado por un pequeño forzamiento que es amplificado por retroalimentación positiva. (Spencer, 2012, pp. 68-69).

Si no sabemos qué forzó el cambio de temperatura, comenta Spencer (2012), probablemente se diagnosticará como retroalimentación positiva. Siguiendo esto, indica que se ha sugerido que la tarea de medir retroalimentaciones es inútil *“y que deberíamos darnos por vencidos. Y es esta persistente incertidumbre la que mantiene vivo el miedo del calentamiento global catastrófico”* (pp. 70-71). Esto lo lleva a sostener que *“el error que han hecho los investigadores en estimar retroalimentaciones implica el rol de las nubes en el sistema climático”*. Argumenta que los científicos han sido *“engañados”* por una *“ilusión”* porque no han *“mirado a las nubes desde ambos lados”*, como consecuencia *“realmente no conocen a las nubes del todo”* (p. 71):

Los dos lados del papel de las nubes en el calentamiento global implica forzamiento y retroalimentación, o si lo prefiere, causa y efecto. Forzamiento (causa) serán nubes provocando un cambio de temperatura. Retroalimentación (efecto) sería una causación fluyendo en la dirección opuesta, con la temperatura provocando un cambio de nubosidad. Este efecto entonces retroalimenta el cambio de temperatura original, haciéndolo más grande o pequeño.

[...] ¿Cómo supieron los investigadores que las temperaturas más cálidas causaron un decrecimiento en la cubierta nubosa, en vez de que el decrecimiento de la cubierta nubosa causó temperaturas más cálidas?

Bueno, resulta que no sabían. (Spencer, 2012, p. 72).

Señala que si los investigadores no son cuidadosos distinguiendo causa y efecto cuando observan nubes y variaciones de temperatura, pueden ser engañados creyendo que el sistema climático es más sensible de lo que realmente es (Spencer, 2012, p. 72). Recordemos aquí lo señalado por Garduño y Gil y Olcina (capítulo IV).

Spencer (2012) explica que el forzamiento que conduce el cambio de temperatura en el modelo *“puede ser cualquier cosa que provoque un desequilibrio global de energía”*, como la contaminación humana, aerosoles volcánicos o tal vez un pequeño cambio en la actividad solar, pero pone más interés en el papel de las fluctuaciones naturales de nubes como mecanismo de forzamiento además de su papel como retroalimentación (pp. 81-82). Como ejemplo señala que una variabilidad azarosa, caótica, en la cubierta de nubes bajas provoca cambios en la cantidad de luz solar absorbida por el océano, y estos

cambios también causan variaciones de temperatura (p. 83). Apunta que los investigadores del clima han desatendido el efecto que las variaciones naturales de nubosidad tienen en sus interpretaciones de las retroalimentaciones del sistema climático: *“en sus intentos por determinar cómo las variaciones de temperatura provocan que las nubes cambien (retroalimentación), han ignorado cómo las variaciones de las nubes causan que la temperatura cambie (forzamiento)”* (p. 87).

Señala, más aún, que el sistema climático puede generar un desequilibrio energético *“por sí mismo”*:

La evidencia de satélite muestra que hace esto cada año, muy probablemente a través de variaciones naturales en la cubierta de nubes [...] Llamo a esta fuente natural de variabilidad climática caos porque es compleja, poco entendida y en gran parte impredecible.

[...] Si fluctuaciones naturales de la nubosidad pueden causar variaciones de temperatura año a año, ¿por qué no cambios sobre los 10 años? ¿O los 50 años? ¿O los 100 años? ¿Ocurren variaciones caóticas de nubosidad en más grandes escalas de tiempo implicadas en el calentamiento global y el cambio climático? Los datos proxy de la temperatura de los últimos 2,000 años son dominados por grandes oscilaciones, muy similares al calentamiento que hemos visto en los últimos 100 años, aproximadamente. (Spencer, 2012, p. 105).

Los procesos que controlan a las nubes, *“sombrija de la naturaleza”*, son innumerables y complejos, sostiene que: *“El clima es temperie promedio, y si usted no entiende lo que controla las variaciones en la temperie no será capaz de entender todas las fuentes potenciales de cambio climático”* (Spencer, 2012, pp. 106-107).

Añade que otras formas naturales de variabilidad climática como El Niño, La Niña, la Oscilación Decenal del Pacífico son unos cuantos ejemplos del caos en el sistema climático (Spencer, 2012, p. 106). De hecho plantea que la Oscilación Decenal del Pacífico ha sido la principal fuerza motriz de la temperatura global en los últimos 100 años. Esta oscilación cambia de fase (de aguas cálidas a frías y viceversa) aproximadamente cada 30 años (actualmente está en una fase cálida). La hipótesis de Spencer sugiere que estos cambios influyen en la cubierta de nubes (Spencer, 2012, pp. 109-123).

Como conclusiones de su estudio, él mismo señala: primero, que el sistema climático es relativamente insensible a influencias de calentamiento, como las emisiones de gases de *“efecto invernadero”* de la humanidad; esta insensibilidad es el resultado de la mayor formación de nubes en respuesta al calentamiento, reflejando así más luz solar al espacio exterior y reduciendo de esta manera dicho calentamiento. Este proceso, subraya, se conoce como retroalimentación negativa (Spencer, 2012, p. 153).

La segunda conclusión está conectada a la primera: mediciones recientes de satélite indican que la mayor parte de la variabilidad de la temperatura promedio global que hemos experimentado en los últimos 100 años pudo haber sido causada por una fluctuación natural en la cubierta de nubes como consecuencia de la Oscilación Decenal del Pacífico. De acuerdo a Spencer (2012):

Esas variaciones naturales en las nubes pueden ser vistas como caos en el sistema climático —evidencia directa de que la Tierra es capaz de causar su propio cambio climático— [...] el calentamiento o enfriamiento global no requiere un mecanismo de forzamiento externo como más gases de efecto invernadero o un cambio en el Sol o una gran erupción volcánica. Es lo que el clima simplemente hace. El sistema climático por sí mismo puede causar su propio cambio climático. (p. 155).

El calentamiento global es, sencillamente, según Spencer (2012), parte de un ciclo natural (p. 155).

Se concluirá esta revisión de conceptos publicados en los últimos años con lo dicho por la geofísica Judith Curry, quien ha sido invitada a presentar su punto de vista sobre el cambio climático en audiencias organizadas por el Congreso de Estados Unidos, tanto en la Cámara de Representantes como en el Senado. Se presenta un resumen de sus testimonios del 15 de abril de 2015, el 25 de abril de 2013 y el 17 de noviembre de 2010 y no de algunos de sus artículos científicos, ya que, al igual que la revisión de las

ideas más recientes de Singer, nos permiten introducirnos al tema a través de un lenguaje sencillo o no tan elaborado.

En la audiencia del 15 de abril de 2015, donde se analizó el “Compromiso climático ante las Naciones Unidas del Presidente” (Barack Obama), Curry sostiene, como puntos centrales que: i) investigaciones y datos recientes apoyan la importancia de la variabilidad natural del clima y ponen en cuestión la conclusión de que los seres humanos son la causa dominante del reciente cambio climático, ii) hemos tomado decisiones cuestionables en la definición del problema del cambio climático y su solución, iii) la incompetencia de las actuales políticas basadas en el Principio de Precaución está dejando a las consecuencias sociales reales del cambio climático y de eventos de temperie extrema (ya sean causados por los seres humanos o la variabilidad natural) en gran medida sin resolverse. Sobre esto último cabe añadir lo que dice al respecto:

- *debemos expandir los marcos conceptuales para pensar acerca de la política climática y proveer a los políticos con una gama más amplia de opciones para hacer frente a los riesgos del cambio climático,*
- *soluciones prácticas basadas en esfuerzos para acelerar la innovación energética, construir resiliencia a la temperie extrema y llevar a cabo sin arrepentimiento medidas de reducción de la contaminación, se justifican independientemente de sus beneficios para la mitigación del y la adaptación al cambio climático. (Curry, 2015).*

En la audiencia del 25 de abril de 2013, donde se analizaron “Cuestiones climáticas políticamente relevantes en contexto”, Curry señala que “el continuo proceso de búsqueda del consenso científico ha tenido la consecuencia imprevista de sobresimplificar tanto el problema como su solución, introduciendo sesgos en la ciencia y los procesos relacionados de toma de decisión”. Al respecto añade:

El desacuerdo y el debate es el alma de la frontera científica, que es donde se encuentra gran parte de la ciencia del clima. Una mayor apertura sobre las incertidumbres científicas y la ignorancia, y más transparencia acerca del disenso y el desacuerdo, proveerían a los políticos con una imagen más completa de la ciencia del clima y sus limitaciones [...] El papel de los científicos no debe ser el desarrollo de la voluntad política de actuar escondiendo o simplificando las incertidumbres, ya sea explícita o implícitamente, detrás de un consenso negociado. (Curry, 2013).

Para terminar con la presentación de Curry, se retomará aquí un fragmento de lo que dijo sobre la incertidumbre de la ciencia climática en la audiencia celebrada el 17 de noviembre de 2010 sobre la “Discusión racional del cambio climático: la ciencia, la evidencia, la respuesta”:

Una declaración sobre la incertidumbre científica en la ciencia del clima es a menudo vista como una declaración política. Una persona haciendo una declaración sobre la incertidumbre o el grado de duda es probable que la clasifiquen como escéptico o negacionista o un “comerciante de dudas”, cuyos motivos se asume son ideológicos o estimulados por el financiamiento de la industria de los combustibles fósiles. Mi propia experiencia discutiendo públicamente mi preocupación sobre cómo la incertidumbre es caracterizada por el IPCC, ha resultado en que yo sea etiquetada como una “hereje climática” que se ha vuelto en contra de mis colegas. (Curry, 2010).

Desafortunadamente, la discusión sobre el cambio climático ha sido contaminada por acusaciones de tipo ideológico (aunque, como veremos más adelante, esto es parte de la defensa de los paradigmas científicos, tiene que ver con la sociología de la ciencia). Curry hace referencia de esto al hablar de la supuesta financiación que reciben de la industria petrolera científicos críticos y de la “herejía” que significa cuestionar al IPCC y al discurso climático-ecologista dominante (políticamente correcto). Lo cual tiene rela-

ción con lo que destacó de Jacobs en la parte final del capítulo III: detrás de esto, se dice, hay “poderosos intereses creados”.

Ante esta situación, es necesario revisar lo dicho sobre el cambio climático antes de que el problema se politizara, para esto se presentan algunos escritos que analizan el tema publicados antes de la creación del IPCC en 1988, incluso antes de la Conferencia de Villach de 1985.

En 1984 se publicó el libro *Contaminación del aire*, preparado originalmente por el ingeniero químico Werner Strauss y concluido por la química industrial Sylvia Mainwaring (debido al fallecimiento de Strauss). En él, Strauss y Mainwaring (1990) señalan que para que un gas o una partícula se consideren contaminantes sus concentraciones debe exceder “*en extensión significativa a sus correspondientes concentraciones ambientales normales*” (p. 15) o cuando dichas concentraciones “*son suficientes para causar efectos adversos sobre el hombre y su ambiente*” (p. 15). Los efectos indirectos, añaden, surgen “*como resultado de cambios en las propiedades físicas del sistema atmosférico de la Tierra*” (p. 15), que en el caso del CO₂ es el equilibrio de la radiación.

Ahora bien, indican que la tendencia de la temperatura que ocurrió en el siglo XX no se pudo asociar con el incremento postulado en la concentración de CO₂ durante el mismo periodo, ya que las temperaturas del hemisferio norte, en promedio, aumentaron en 0.6 °C entre 1890 y 1940, pero desde esa fecha decrecieron en 0.3 °C (hasta el momento de la edición del libro, a finales de 1983 o principios de 1984). Apuntan que: “*Esto no descarta la relación entre concentraciones de CO₂ y temperatura, sino que ilustra la incertidumbre asociada con la predicción de cambio climático y la magnitud de los efectos naturales de causa desconocida*” (Strauss y Mainwaring, 1990, p. 78). También hablan sobre las concentraciones de partículas y su influencia sobre el clima, ya que incrementan el albedo (Strauss y Mainwaring, 1990, pp. 78-79).

En *Changing Climate*, uno de los reportes sobre el asunto del dióxido de carbono publicado por la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos en 1983, el economista Thomas Schelling indicó que era más apropiado tomar el cambio climático en sí mismo como el tema de estudio, no el dióxido de carbono o la energía, por las siguientes razones: i) porque podrían presentarse en las próximas décadas cambios en el clima no provocados por la actividad humana: “*Los cambios debidos al dióxido de carbono tienen que ser evaluados contra un historial proyectado de cambio natural*”, es decir, si hay una tendencia de calentamiento, enfriamiento o ninguna en absoluto, ii) porque el dióxido de carbono no es el único gas o sustancia emitida a la atmósfera por el ser humano que afecta el clima, así, otros gases también tienen “efecto de invernadero”, además de que la agricultura y la actividad industrial y muchos cambios realizados a la superficie del planeta pueden alterar el clima: “*No sólo el impacto del dióxido de carbono debe ser evaluado junto a otras actividades que alteren el clima, sino que cualquier respuesta política necesita un enfoque más amplio que el dióxido de carbono*”, iii) porque hay una tendencia natural a definir un problema haciendo referencia al agente de cambio y a buscar soluciones en el campo sugerido por la definición del problema, en este caso, “*combustibles fósiles*” o “*CO₂*”: “*Sería equivocado comprometernos con el principio de que si los combustibles fósiles y el dióxido de carbono son donde el problema comienza también es donde se encuentra la solución*” (Schelling, 1983, p. 449).

Cabe añadir que en una nota Schelling indica que el “efecto invernadero”:

es un fenómeno de temperatura global promedio, pero puede resultar en temperaturas más frías así como más cálidas en ciertas localidades o durante temporadas particulares, y el “calentamiento”, más aún, es probable que sea menos importante como un cambio de temperatura que como un determinante de vientos, nubes, precipitación, luz solar y otros componentes de la temperie y el clima. (Schelling, 1983, p. 469).

Al comenzar la década de 1970, el físico y epistemólogo Rolando García encabezó un proyecto internacional, patrocinado por la Federación Internacional de Institutos de Estudios Avanzados y el Instituto Aspen de Estudios Humanísticos, para explicar la sequía que afectó el Sahel a finales de la década de 1960

y principios de la década de 1970 (de esto hizo referencia Gore en *La Tierra en juego*) y las causas del sufrimiento que le siguieron, así como para examinar el impacto de las anomalías climáticas en la humanidad. Fruto de ese trabajo fue el reporte *Drought and Man* (La sequía y el hombre), cuyo primer volumen se tituló *Nature Pleads Not Guilty* (La naturaleza se declara inocente), publicado en 1981. Las reflexiones y conclusiones que presenta García aportan indudablemente conceptos para discutir el tema del cambio climático y el papel que deben tomar las sociedades y sus políticos. A continuación se presentan algunos de sus conceptos con relación al clima.

García (1981) distingue tres tipos de variaciones climáticas: fluctuación normal, la cual es esperada, se presenta alrededor de un valor medio (rango) referido a muchas décadas; eventos anormales y grandes, como grandes inundaciones y sequías muy prolongadas (apunta que la distinción entre las primeras y las segundas es arbitraria, depende de las condiciones de cada sociedad); y tendencia larga, como un enfriamiento o calentamiento sobre un siglo o más. Sobre las últimas, indica que en el pasado estas ocurrieron y tuvieron fuertes efectos sociales, como migraciones o guerras (pp. 220-221).

Señala que el conocimiento de los mecanismos de forzamiento del clima es “*demasiado incompleto para dar una predicción confiable en este momento*”, ya que si se continúan quemando combustibles de origen fósil y aumentando así el dióxido de carbono, es probable que esto conduzca a un calentamiento, pero “*de cuánto será, cuáles serán los cambios resultantes en la circulación general de la atmósfera, cómo cambiarán los patrones de temperatura, nubosidad y precipitación a escala regional y gran escala, son temas que no podemos contestar ahora*” (García, 1981, p. 221). Más aún, apunta que:

No compartimos la opinión de aquellos que predicen efectos catastróficos para la humanidad en su conjunto por el tipo de cambios que pudiesen ocurrir. Si se presenta un calentamiento general, algunas regiones, indudablemente, tendrán mejor clima y otras empeorarán. Podemos imaginar posibles escenarios, con algunos cambios supuestos, y tratar de imaginar las implicaciones para algunos países y algunas regiones, así como las interrelaciones entre ellos. No importa qué tan racionales y juiciosas estas evaluaciones puedan ser, no debemos engañarnos creyendo que realmente estamos evaluando los posibles efectos de un aumento de CO₂. (García, 1981, p. 221).

Siguiendo esto, sobre los países en vías de desarrollo, particularmente indicó que:

los acontecimientos en África, Asia y América Latina desde el lado socio-económico y político son, y continuarán siendo, de tal magnitud que van a conformar el futuro de muchos de estos países mucho más y más abruptamente que cualquier cambio en las condiciones climáticas durante las próximas décadas. (García, 1981, p. 221).

Ya que, gracias al estudio realizado, notaron que el impacto propiamente dicho depende, al menos tanto, y en muchos casos más, de las condiciones de la sociedad receptora que de la magnitud propiamente dicha o de la naturaleza de la perturbación climática: “*Sería infantil, por lo tanto, analizar futuros escenarios posibles tomando el clima como la única variable y creer que estamos prediciendo algo que es improbable que se produzca*” (García, 1981, p. 221).

Señala que una duplicación de CO₂ probablemente inducirá alguna tendencia de calentamiento en un promedio global y que las variaciones de la temperatura a escala regional podrían ser benéficas en vez de perjudiciales. Subraya que el problema científico “*es complejo y no podemos esperar en un futuro próximo una estimación confiable de las perturbaciones climáticas o los cambios actuales, especialmente con respecto a los detalles esenciales como cuánto y dónde*” (García, 1981, p. 246). Añade que basado en registros climáticos podemos esperar desviaciones de corto plazo, fluctuaciones y cambios, ya sea calentamientos o enfriamientos regionales o un calentamiento o enfriamiento global, como la Fase de Calentamiento Medieval y la Pequeña Edad de Hielo (García, 1981, p. 247).

Sin bien comenta que no se debe descartar la posibilidad de influencias humanas, sostiene que: *“Hay poca evidencia, sin embargo, de que la influencia humana pueda tener efectos sorprendentes, ya que estamos cambiando los factores físicos muy lentamente”* (García, 1981, p. 247). Por lo tanto, sugirió evaluar la posibilidad de que ocurra dicha influencia y cómo monitorear su evolución.

Concluye señalando que:

Estamos enfrentados a un sistema físico que es desconcertantemente complejo, que opera en muchas escalas, que requerirá grandes esfuerzos para ser observado en detalle por un gran periodo de tiempo. Que exhibe algunos aspectos de comportamiento determinista, pero lo hace de muchas formas complejas con muchas retroalimentaciones no lineales. También exhibe características que parecen indeterminadas, al menos desde el estrictamente explícito punto de vista mecanicista. (García, 1981, p. 262).

Nature Pleads Not Guilty incluye en un capítulo la participación del meteorólogo Joseph Smagorinsky, entonces director del Laboratorio Geofísico de Dinámica de Fluidos de la Universidad Princeton, quien indica, con relación al clima, que hay algunas cosas que sabemos con cierto grado de certeza, como la naturaleza empírica de la variabilidad interanual, sus características regionales y cómo está relacionada con variaciones meteorológicas día a día. Sin embargo, precisó que es necesario moldear la discusión sobre el entendimiento teórico de los procesos físicos y dinámicos que son operativos, ya que en algunos casos este entendimiento es razonablemente firme, pero en otros es más especulativo: *“Debemos aún entender completamente en qué medida los procesos naturales dentro del sistema tierra-atmósfera pueden hacerse responsables de nuestro presunto conocimiento basado en la observación”*. Así, indica, no sería necesario invocar influencias extra-terrestres como las manchas solares o la influencia de la actividad humana como la liberación de dióxido de carbono o el calor industrial. Por esto es necesario *“establecer empíricamente la estructura de esta variabilidad”*, que debe incluir las propias variaciones y la estructura de la circulación general atmosférica y en lo posible de los océanos (Smagorinsky, 1981, pp. 265-267):

Sin esta información observacional, las investigaciones teóricas están condenadas a ser conducidas en la oscuridad. Hay muchos ejemplos de conclusiones generales incorrectas extraídas de conjuntos de datos críticamente incompletos. Hay casos donde variaciones locales o regionales de corto plazo son tomadas como indicadores de sucesos hemisféricos o incluso globales de largo plazo. (Smagorinsky, 1981, p. 267).

Concluye que el problema de la variabilidad del clima y de la circulación general de un mes a varios años *“está virtualmente intacta, observacional y teóricamente”*. Observacionalmente, señala, se requiere un sistema de vigilancia global para documentar la estructura regional, interregional, interhemisférica, interestacional e interanual de: i) la temperatura superficial y la precipitación continental y oceánica, ii) la hidrología del suelo continental (cubierta de nieve y humedad), iii) el hielo marino, iv) la nubosidad, v) la circulación general. Teóricamente: i) parece más apropiado desarrollar modelos de la circulación general, ii) es necesaria la integración de los océanos, al menos hasta la termoclina estacional, iii) estos modelos deben ser entonces usados para desarrollar experimentos controlados para probar la sensibilidad mensual o estacional de estados medios a condiciones de contorno específicas y a sus mecanismos interactivos de retroalimentación (Smagorinsky, 1981, p. 295).

Recordemos que esto fue publicado en 1981. Cuatro años después, en la Conferencia de Villach, se dio por cierta la idea de que el dióxido de carbono estaba causando un calentamiento global. Siguiendo a Smagorinsky, no había elementos ni observacionales ni teóricos para sostener eso. Podemos también indicar que lo dicho por Spencer es una continuación de lo señalado por Smagorinsky.

De hecho, este autor publicó en 1977 en *Energy and Climate*, un capítulo donde trata el tema de la construcción de modelos y la predicción, preguntándose si realmente entendemos el clima *“natural”* y

sus muchas escalas de tiempo, que van de mes a mes hasta año a año y más allá (Smagorinsky, 1977, p. 133). Apunta:

Uno está tentado a presumir que el cambio climático es ante todo el resultado de influencias extra-terrestres. Por ejemplo, el más espectacular de todos los cambios climáticos percibidos es el ciclo estacional en respuesta a los cambios de la radiación solar como una consecuencia orbital. Sin embargo, el complejo sistema tierra-atmósfera-océano-criosfera (el “sistema climático”), debido a su gran multidimensionalidad interactiva, puede concebiblemente ser responsable de todas las evidencias pasadas de cambio climático, incluyendo las eras de hielo. Esto podría ser el resultado de una sutil interacción de retroalimentaciones positivas y negativas con diversos momentos de inactividad. Lo cual significaría que para condiciones fijas de contorno, un único equilibrio estadístico estable no existe. Esta posible intransitividad es ahora sólo una sospecha; aún tiene que alcanzarse un fuerte sustento experimental. (Smagorinsky, 1977, p. 135).

Continuando con esto, señala algunos “mecanismos no incluidos en el actual modelo del sistema climático terrestre”: la regulación del CO₂ del océano, la reacción de las nubes, la interacción de los aerosoles, los océanos en comparación con los continentes y la variación estacional (Smagorinsky, 1977, p. 136).

Con relación a las nubes, indica que la habilidad para predecir la “etapa de la nube” con precisión adecuada para determinar las consecuencias radiativas “sigue siendo uno de los más difíciles problemas de la modelación climática” (Smagorinsky, 1977, p. 134). Señala que la importancia de las nubes viene de su papel como reflectante y atenuante de la radiación solar, de esta manera, un incremento en nubes medias y bajas: i) aumenta el albedo atmosférico, ii) disminuye la radiación solar neta hacia abajo, iii) enfría el sistema atmósfera-tierra-océano, iv) disminuye la temperatura de la superficie. Por otra parte, un incremento de nubes altas, debido a su bajo albedo y alta emisión de temperatura: i) incrementa la absorción de la radiación solar, ii) disminuye la radiación neta saliente, iii) calienta el sistema atmósfera-tierra-océano, iv) incrementa la temperatura de la superficie. Por lo tanto: “el incremento de la humedad relativa en niveles bajos y su disminución en niveles altos contribuye a la disminución de la temperatura de la superficie —cualitativamente, una retroalimentación negativa o estabilizadora” (Smagorinsky, 1977, p. 136).

Concluye Smagorinsky que “la interacción de las nubes es altamente no lineal y podría amortiguar por completo las inestabilidades de efecto invernadero de la capa de nieve y el vapor de agua que resulten de una duplicación del CO₂” (Smagorinsky, 1977, p. 137).

En 1973 se publicó el libro *Human Ecology* (Ecología humana), escrito por los biólogos Paul Ehrlich, Anne Ehrlich y el tecnólogo John Holdren, donde indican que el ser humano está influyendo sobre el clima debido al CO₂ que sus actividades añaden a la atmósfera, pero el grado y significado de esa influencia son inciertos, ya que desde la década de 1940 “parece que ha habido un ligero descenso en la temperatura promedio de la Tierra, a pesar del incremento continuo del contenido de CO₂ de la atmósfera” (Ehrlich, Ehrlich y Holdren, 1973, p. 199). Esto, explican, podría ser resultado de un incremento en el albedo causado por ceniza volcánica, polvo, diversas partículas de la contaminación y también por una mayor cubierta de nubes producida por las estelas de vapor de los jets que vuelan a gran altitud: “Este incremento en la reflexión pudo haber más que balanceado el aumento del efecto invernadero por el CO₂” (Ehrlich et al., 1973, p. 199).

Señalan que es imposible predecir exactamente lo que ocurrirá con la temperatura de la Tierra en las próximas décadas o cuáles serán los efectos de los cambios a escala local debido a las complicaciones para registrar las fluctuaciones de la temperatura: “Somos especialmente ignorantes de los factores desencadenantes o de los umbrales de los sistemas climáticos”, entre ellos, la radiación producida por el Sol: “no podemos aún aislar la contribución humana de los cambios que observamos” (Ehrlich et al., 1973, p. 200). Agregan, para concluir, que el clima es algo que siempre cambia:

Los pasados millón y medio de años han mostrado un patrón de avances y retrocesos de glaciares, cambios en el nivel del mar, cambios en el patrón de lluvias, etc. —todos tuvieron un impacto tremendo en los hombres que vivieron entonces—. Muchas áreas del planeta muestran trazos de impactos en la humanidad por inundaciones o descensos de temperatura o de grupos forzados a emigrar por la sequía. Los cambios en el clima inducidos por el ser humano que ahora parecen posibles podrían ser vistos solamente como una continuación de antiguos procesos de cambio y por lo tanto nos llevan a considerar riesgos que siempre han estado presentes de una manera u otra. (Ehrlich et al., 1973, p. 200).

Para estos autores, el problema es que si se presenta un calentamiento o un enfriamiento, por el motivo que sea, se producirán enormes hambrunas debido a la sobrepoblación y a la complicación para producir más alimentos, ya que la perturbación climática dañará los graneros del hemisferio norte. Cabe añadir que el tema que más preocupaba en esos años a Paul Ehrlich no era el clima en sí, sino el crecimiento poblacional.

En 1970, la revista *Scientific American* presentó en su número de septiembre una serie de artículos dedicados a la biosfera, los cuales después fueron editados en un libro precisamente con ese título: *The Biosphere* (en español se publicó en 1972 con el título *La biosfera*). Este conjunto de escritos es muy relevante en la investigación sobre el discurso del cambio climático, especialmente dos de ellos, ya que fueron firmados por científicos que con el transcurso del tiempo se convirtieron en actores centrales en este capítulo de la historia de la ciencia —y, por sus implicaciones, de la historia contemporánea—. Pero antes de presentar esos dos artículos es necesario destacar algo de lo dicho en otros dos. En “El ciclo de la energía de la biosfera”, el ecólogo George Woodwell señala:

Los datos indican que el incremento en la concentración del anhídrido carbónico de la atmósfera desde la mitad del siglo XIX de cerca del 10 % —30 partes por millón—, provocado por la revolución industrial, tal vez haya aumentado la producción neta [de materia orgánica seca] hasta en un 5 % o 10 %. Este incremento, si fuese aplicable en todo el mundo y se pudiese considerar separadamente, aumentaría la energía total —y el carbono— almacenada en los ecosistemas naturales en una cantidad equivalente, con el resultado de una mejora equivalente de los rendimientos agrícolas. (Woodwell, 1972, pp. 76-77).

La materia orgánica seca es energía potencialmente disponible para los consumidores. Siguiendo a Woodwell, el aumento de CO₂ tendría un impacto positivo.

En “El ciclo de la energía de la Tierra”, el meteorólogo Abraham Oort indica que registros paleontológicos y meteorológicos muestran que el clima ha cambiado significativamente en el pasado y es probable que esté cambiando ahora. Apunta que la forma más factible de influir sobre el clima, por medios naturales o artificiales, parece ser:

un mecanismo desencadenante que altere el balance de radiación. Por ejemplo, si la capa de nubes o el contenido de polvo del aire en las altas latitudes fueran cambiados, la cantidad de radiación reflejada aumentaría, disminuyendo por tanto, la radiación solar disponible para calentar la atmósfera y la superficie de la Tierra en dichas latitudes. (Oort, 1972, p. 49).

Agrega que también pueden alterar el clima cambios en la reflexión o absorción de la superficie terrestre y en la proporción relativa de los gases atmosféricos, como el aumento del contenido de CO₂ en el aire; también debe considerarse la posibilidad de influencias externas asociadas con variaciones en el nivel de actividad solar, “pueden imaginarse muchos otros medios de producir cambios en el macroclima de la Tierra” (Oort, 1972, p. 50). Y concluye que:

Un factor importante que complica la cuestión es la naturaleza interactiva de los distintos procesos que operan en el océano y en la atmósfera. Ello hace prácticamente imposible deducir, por simple razonamiento, o incluso con el uso de un método simple, qué ocurriría si se pudiera provocar un ligero cambio, más o menos permanente, en el valor de la radiación. (Oort, 1972, p. 51).

Se presentan a continuación los dos artículos que considero centrales en el estudio del discurso del cambio climático, tanto por lo dicho como por quien lo dijo. En “El ciclo del carbono”, el meteorólogo Bert Bolin, primer presidente del IPCC, miembro del AGGG y colaborador en la redacción, como Goodman, de *Nuestro futuro común*, señala: “Las mediciones indican que el tiempo de permanencia en la atmósfera característico del anhídrido carbónico antes de que el gas se disuelva en el mar es de cinco a diez años” (Bolin, 1972, p. 114).

Y añade:

Estudios de laboratorio indican que las plantas crecen más de prisa cuando el aire que las rodea está enriquecido en anhídrido carbónico. Así, es posible que el hombre esté fertilizando los campos y los bosques al quemar carbón, petróleo y gas natural [...]

Aunque probablemente las plantas terrestres han jugado un papel importante en el depósito de compuestos orgánicos en el suelo, es indudable que son los océanos los que han actuado como el principal regulador. La cantidad de anhídrido carbónico en la atmósfera está determinada principalmente por la presión parcial de anhídrido carbónico disuelto en el mar. (Bolin, 1972, pp. 116-119).

Explica los procesos mediante los cuales disminuye la cantidad de CO₂ en solución y se estabiliza su contenido en los océanos. Concluye advirtiendo que las perturbaciones más importantes, de las que somos conscientes, son aquellas que actualmente están siendo introducidas por el hombre:

Puesto que sus intromisiones en los equilibrios biológicos y geoquímicos pueden resultar perjudiciales —e incluso fatales— para él mismo, debe conocerlos mucho mejor de lo que los comprendemos hoy día. La historia de la circulación del carbono en la naturaleza nos enseña que no podemos controlar los equilibrios globales. Por tanto, hubiera sido preferible dejarlos próximos al estado natural que existía hasta que empezó la Revolución Industrial. (Bolin, 1972, p. 120).

Bolin expresa preocupación por los probables efectos adversos que pudiese causar la emisión de más CO₂ a la atmósfera, sin embargo, no profundiza al respecto, no habla de la posibilidad de un calentamiento global, idea, como hemos visto, ya presente. Problema que sí es analizado en “La producción humana de energía como un proceso en la biosfera”, escrito por Fred Singer.

En ese artículo, Singer cuestiona la posibilidad de que el aumento del CO₂ en la atmósfera incremente la temperatura en todo el mundo:

Un aumento de temperatura en la superficie de la Tierra y en los niveles bajos de la atmósfera no sólo aumenta la evaporación, sino que, además, cambia la nubosidad. Los cambios en la nubosidad alteran el albedo, o poder de reflexión medio de la Tierra. El albedo promedio normal es de un 30 %, lo que significa que el 30 % de la luz solar que llega a la Tierra es inmediatamente reflejada al espacio. Los cambios en la nubosidad, por tanto, pueden tener un marcado efecto sobre la temperatura atmosférica y sobre el clima. (Singer, 1972, p. 230).

Señala que el aumento del contenido de CO₂ en la atmósfera es un hecho firmemente establecido por mediciones de toda confianza, pero que el efecto de tal aumento sobre el clima es incierto:

en parte porque no se dispone de buenas mediciones mundiales de radiación y, en parte, debido a los efectos contraproducentes de los cambios de nubosidad y de la turbiedad de la atmósfera. Una atractiva posibilidad tecnológica es el uso de un satélite climatológico para medir la energía radiada por la Tierra hacia el espacio. Los datos proporcionarían la base para la primera medición fidedigna y generalizada del “clima global de radiación”. (Singer, 1972, p. 232).

Apunta que, en cualquier caso, los altos niveles de CO₂ no deben persistir por mucho tiempo, ya que tanto los océanos como las plantas absorben el exceso, en los océanos a medida que el agua de los niveles intermedios se mezcla con los más profundos (señala que hay 60 veces más anhídrido carbónico en los océanos que en la atmósfera) y gracias a la fotosíntesis que ocurre en los bosques (el CO₂ estimula el crecimiento más rápido de las plantas) (Singer, 1972, p. 232).

Como podemos ver, Singer ha sido consistente con su pensamiento por al menos 45 años.

En 1951, la Sociedad Americana de Meteorología editó un libro titulado *Compendium of Meteorology* (Compendio de meteorología), en el capítulo “Aspectos geológicos e históricos del cambio climático”, el meteorólogo Charles Brooks indica sobre las variaciones del dióxido de carbono que su cantidad en la atmósfera debió haber variado en gran medida durante el tiempo geológico, siendo mermado por la formación de calizas y depósitos de carbón y repuesta por la acción volcánica, aunque ordinariamente la variación fue lenta porque una gran cantidad de CO₂ es disuelta en los océanos. Indica que Arrhenius y Chamberlin vieron en estas variaciones *“una causa de cambios climáticos, pero la teoría nunca fue ampliamente aceptada y fue abandonada cuando se encontró que toda la radiación de onda larga absorbida por el CO₂ es también absorbida por el vapor de agua”*. Reconoce el aumento de la cantidad del CO₂ debido a la combustión de carbón y comenta que Callendar relaciona esto con un incremento de la temperatura global, sin embargo, señala que: *“Durante los pasados 7,000 años han ocurrido mayores fluctuaciones de temperatura sin la intervención del hombre y parece que no hay razón para considerar el incremento reciente como no más que una coincidencia. Esta teoría no se considerará más”* (Brooks, 1951, pp. 1015-1016).

Hoy, mediados de 2016, se sigue haciendo la misma observación: los océanos son sumideros o disolventes de CO₂, el vapor de agua es muy importante en la absorción del infrarrojo y se deben considerar las variaciones naturales del clima.

Brooks desechó la teoría del calentamiento global causado por el incremento del dióxido de carbono, pero Plass, Revelle y Suess no.

Para cerrar esta parte del análisis se presenta la conclusión del famoso artículo de Callendar, “The Artificial Production of Carbon Dioxide and its Influence on Temperature” (La producción artificial de dióxido de carbono y su influencia en la temperatura), publicado en 1938, donde estableció una relación entre el aumento de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera con el incremento de la temperatura de la Tierra. Para muchos, con Callendar comenzó la historia de la “lucha” para detener el cambio climático causado por el ser humano:

En conclusión, puede decirse que la quema de combustibles fósiles, ya sea turba de la superficie o petróleo de 10,000 pies de profundidad, es probable que resulte benéfico para la humanidad en muchas maneras, además de la provisión de calor y electricidad. Por ejemplo, los pequeños incrementos en la temperatura media [...] podrían ser importantes en el límite norte de la agricultura y el crecimiento de plantas ubicadas favorablemente es directamente proporcional a la presión del dióxido de carbono. (Callendar, 1938, p. 236).

No anuncia un apocalipsis. No está de más agregar los comentarios que el ya mencionado Brooks hizo del trabajo de Callendar, el editor de la revista presentó un resumen de estos al final del artículo:

[El Dr. Brooks] dijo que no tiene duda que ha habido un cambio climático real durante los pasados treinta o cuarenta años. Este se mostró no sólo por el aumento de la temperatura en las estaciones

terrestres, sino también por el decrecimiento en la cantidad de hielo en la región Ártica y probablemente también en la Antártica y por el incremento de la temperatura del mar. Este aumento de temperatura podría, sin embargo, ser explicado, cualitativamente, si no cuantitativamente, por cambios en la circulación atmosférica, y en aquellas regiones donde pudiera esperarse que un cambio en la circulación causara una caída en la temperatura, ha habido en realidad una caída; más aún, el aumento de la temperatura fue aproximadamente diez veces tan grande en las regiones árticas como en las latitudes medias o bajas, y no piensa que un cambio en la cantidad de dióxido de carbono pudo causar un efecto tan diferencial. La posibilidad, sin embargo, ciertamente amerita discusión. (Callendar, 1938, p. 238).

Volvamos a Singer, a lo que dice recientemente (2015) sobre el enfriamiento que podría experimentar el planeta en las próximas décadas debido a la periodicidad de las etapas frías causadas por la menor actividad solar. ¿Está equivocado? Profundicemos al respecto.

En la revista *New Astronomy*, los físicos Víctor Velasco y Blanca Mendoza y la matemática Graciela Velasco publicaron en 2015 un artículo titulado “Reconstruction and Prediction of the Total Solar Irradiance: From the Medieval Warm Period to the 21st Century” (Reconstrucción y predicción de la irradiancia solar total: Desde el Periodo Cálido Medieval al siglo XXI), donde plantean que la irradiancia solar total es la principal fuente de energía del sistema climático de la Tierra y, por lo tanto, sus variaciones pueden contribuir al cambio climático natural. Esta variabilidad es caracterizada por, entre otras manifestaciones, oscilaciones decenales y seculares, las cuales han llevado a diversos intentos para estimar la futura actividad solar. Consideran que ahora es de particular interés el hecho de que el comportamiento del mínimo del ciclo solar 23 mostró una declinación de la actividad, no vista previamente en ciclos pasados para los que existen observaciones espaciales, lo que podría estar señalando el comienzo de un nuevo gran mínimo solar. Señalan que la estimación de la actividad solar para los siguientes 100 años es uno de los actuales problemas de la física solar porque la posible aparición de un gran mínimo solar en el futuro probablemente tendrá un impacto en el clima de la Tierra.

En el estudio analizaron la relación de la irradiancia solar total antes y después de un gran mínimo solar. Según los datos empleados, encontraron que se presentará un gran mínimo solar durante el siglo XXI, comenzando aproximadamente en 2004 o 2002 y terminando aproximadamente en 2075 o 2063. Advierten que los futuros ciclos solares (del actual, el 24, hasta el 29) tendrán anomalías más bajas de energía comparadas con el presente (Velasco, Mendoza y Velasco, 2015). Cabe añadir que el ciclo solar 24 comenzó el 4 de enero de 2008.

El astrofísico Habibullo Abdussamatov también espera que se presente un descenso de la temperatura durante el siglo XXI. En el artículo “Bicentennial Decrease of the Total Solar Irradiance Leads to Unbalanced Thermal Budget of the Earth and the Little Ice Age” (La disminución bicentenaria de la irradiancia solar total lleva a un balance térmico desequilibrado de la Tierra y a la Pequeña Edad de Hielo), publicado en el año 2012 en la revista *Applied Physics Research*, indica que desde el comienzo de la década de 1990 se ha observado una declinación bicentenaria tanto en la irradiancia solar total como en la parte de su energía absorbida por la Tierra, la cual tendrá en lo sucesivo un balance negativo en su balance térmico, lo que resultará en una caída en la temperatura a partir, aproximadamente, de 2014. Indica que debido al incremento del albedo, la parte absorbida de la energía solar y la influencia del efecto invernadero adicionalmente disminuirán, por lo que la influencia de la cadena de efectos retroalimentadores consecutivos, que pueden llevar a una baja adicional de temperatura, superará la influencia de la disminución de la irradiancia solar total. Estima que el inicio del “*profundo mínimo*” bicentenario de la irradiancia solar total se espera para alrededor del año 2042 y el comienzo del “*profundo enfriamiento*”, que correspondería a la decimonovena Pequeña Edad de Hielo de los últimos 7,500 años, alrededor de 2055 (Abdussamatov, 2012).

Abdussamatov ha estudiado el tema al menos desde 2004 y Víctor Velasco al menos desde 2008.

Mendoza, por su parte, fue coautora con los físicos Javier Otaola y Román Pérez de un libro titulado *El Sol y la Tierra*, publicado originalmente en 1993. En él señalan que “*pequeñas variaciones en la cantidad de radiación y partículas que recibimos del Sol, tienen un efecto significativo en el ambiente*” (Otaola, Mendoza y Pérez, 1999, p. 9). Explican que “*la variación en las temperaturas medias globales entre sucesivos máximos y mínimos de manchas solares es de aproximadamente 0.3 a 0.4 °C. Este cambio en la temperatura es suficiente como para causar cambios climáticos importantes en la Tierra*” (Otaola et al., 1999, p. 101). Por lo que existe “*una relación estrecha entre la actividad solar y los fenómenos meteorológicos, tanto de corto como de largo periodo*” y si bien subrayan que ninguna de las correlaciones es perfecta, la actividad solar “*puede producir cambios o perturbaciones en el tiempo y el clima*” (Otaola et al., 1999, p. 117). Apuntan, no obstante, que “*el pronóstico de cambios climáticos a largo plazo es, prácticamente, una conjetura*” (Otaola et al., 1999, p. 80).

Para concluir este breve recorrido por la cuestión Sol-Tierra, se transcribe un fragmento de la sección “El ‘clima’ del Sol nos afecta”, del libro *El Universo en explosión*, publicado en 1979 por el físico Nigel Henbest:

El clima solar afecta en sumo grado a nuestro clima. Durante el pasado siglo XVII, toda la actividad de la superficie del Sol se detuvo durante sesenta años, y la temperatura de la Tierra descendió. Sólo en 0.6 °C sobre la media, es cierto, pero fue sin embargo suficiente como para dar lugar a una “mini” glaciación: el Támesis en Londres, por ejemplo, se heló unas diez veces en estos rigurosos inviernos. (Henbest, 1982, p. 130).

¿Comenzará (¿o ya comenzó?) en los próximos años un periodo de enfriamiento —no calentamiento— global debido a la menor actividad solar? Si es así, los problemas serán diferentes a los que se esbozan por el supuesto calentamiento. Si se produce el enfriamiento, ¿dejará de existir el IPCC o dirá que el enfriamiento es precisamente una consecuencia del aumento del dióxido de carbono?

Para terminar la revisión de autores, se presentan algunas palabras del meteorólogo Vicente Barros, uno de los co-presidentes del Grupo de Trabajo II del Quinto Informe del IPCC (concentrado en tratar impactos, adaptación y vulnerabilidad), tomadas de su libro *El cambio climático global*, publicado en 2005.

Para Barros (2005) el cambio climático ya es inevitable: “*la temperatura global de los próximos 50 años aumentará con pocas diferencias entre los posibles escenarios, sin importar ya lo que se haga al respecto*” (pp. 168-169). Por lo tanto, debemos concentrarnos en el problema de la vulnerabilidad y de la adaptación. Explica que la prolongada permanencia de los gases de efecto invernadero en la atmósfera hace que las emisiones tengan un efecto acumulativo, lo cual, combinado con el retardo con que las temperaturas del sistema climático se acomodan a las nuevas concentraciones de estos gases, provoca que los mayores efectos de las emisiones se sientan después de varias décadas (p. 14).

Ahora bien, señala que si las bandas de absorción no están muy ocupadas por el mismo u otro gas, el forzamiento radiativo crece linealmente con la concentración de dicho gas, y de darse lo contrario, lo hace más lentamente:

Esto quiere decir que el forzamiento radiativo de un GEI [gas de efecto invernadero] puede variar con el tiempo, al modificarse su concentración. Como la absorción del dióxido de carbono crece logarítmicamente con su concentración, los aumentos de concentración iniciales implicaron un mayor forzamiento radiativo que los del presente. Igualmente, las emisiones del futuro tendrán cada vez menor forzamiento radiativo. Esta característica tiene una implicancia política en la asignación de responsabilidades respecto del Cambio Climático, ya que los países desarrollados fueron, por mucho, los mayores emisores de dióxido de carbono en los primeros tiempos del período industrial y siguen siéndolo (aunque en menor medida en el presente). Por otra parte, se estima que en el futuro las emisiones de los países en desarrollo crecerán más rápidamente que las de los desarrollados; pero, por lo explicado, su impacto será ya menor. (Barros, 2005, pp. 44-45).

Una curva logarítmica tiende a ser progresivamente menor, es decir, se proyecta casi horizontalmente, no verticalmente. Siguiendo a Barros, podemos concluir que la mayor parte del calentamiento por la emisión de dióxido de carbono ya fue y que lo que se presentará en las próximas décadas, si se presenta, será mínimo, debido a la saturación en la absorción del infrarrojo. A esto se refiere Garduño (2003) cuando dice que “*el efecto se satura; más allá de cierta cantidad de vapor la opacidad atmosférica de onda larga ya no aumenta*” (p. 65). Recordemos que el vapor de agua, no el dióxido de carbono, es el principal gas del mal llamado “efecto invernadero”.

Junto con el efecto albedo, este fenómeno de saturación lleva a desestimar las proyecciones catastróficas del IPCC. Más aún, apoyados en Barros podemos cuestionar si es necesario impulsar una civilización “libre” de carbono. Este autor de hecho reconoce la variación natural del clima:

Hace unos 10,000 años, la temperatura global, después de algunas fluctuaciones, alcanzó los valores actuales y siguió aumentando hasta que alrededor de 4,000 a 5,000 años después alcanzó un máximo conocido como el Óptimo Termal del Holoceno [...] Las concentraciones de dióxido de carbono durante el óptimo termal parecen haber sido muy similares a las de la era preindustrial, por lo cual sus altas temperaturas deben haberse originado en otras causas. Muy probablemente, la causa fundamental hayan sido las condiciones astronómicas que entre 11,000 y 6,000 años atrás contribuían al calentamiento global. (Barros, 2005, pp. 74-75).

Para cerrar lo dicho por este autor, se destaca lo que indica sobre el problema que significan las políticas de mitigación (reducción de la emisión de CO₂), ya que afectan la generación de energía y por lo tanto el crecimiento económico y el bienestar social, lo cual tiene relación con lo que se tratará más adelante. Reconoce que las restricciones al aumento del consumo energético son mucho más perjudiciales para el progreso económico en las regiones en vías de desarrollo que para las ya desarrolladas, de esta manera:

a medida que se incrementa el PBI [producto interno bruto], a los países desarrollados les resulta cada vez menos difícil crecer sin aumentar demasiado el consumo energético. En cambio, en un país de escaso desarrollo que aún está en la fase de aumento de la intensidad energética o en otro desarrollo intermedio que estaría alrededor del máximo de la curva de intensidad energética, el aumento del PBI necesitará de mayor consumo energético. (Barros, 2005, pp. 146-148).

Esto es parte del problema, no el aumento del dióxido de carbono.

La revisión hecha en este capítulo nos permite concluir lo siguiente:

1. No había conocimiento suficiente, ni teórico ni empírico, a mediados de la década de 1980 para dar por cierta la idea del calentamiento global catastrófico causado por las actividades humanas, particularmente, por la emisión de dióxido de carbono debido a la quema de carbón y petróleo.
2. Dentro de los fenómenos o factores que determinan el clima (su cambio) debemos considerar:
 - las nubes,
 - las oscilaciones oceánicas,
 - la capacidad de absorción de calor de los gases de la atmósfera, particularmente del vapor de agua,
 - la actividad solar,
 - la actividad volcánica.
3. No debe ignorarse la capacidad de los océanos para capturar dióxido de carbono.
4. El dióxido de carbono es nutriente de las plantas.
5. Es necesario tener en cuenta el efecto “isla de calor” de las zonas urbanas, lo cual no sólo afecta la temperatura reportada en las estaciones meteorológicas, sino el clima local (y los ecosistemas que las rodean y su biodiversidad).
6. Se debe tener en cuenta en la medición de la temperatura el impacto de la deforestación y la erosión causada por las actividades humanas.

7. Hay incertidumbres, preguntas sin resolver en la climatología. Sostener posturas inflexibles para explicar los cambios climáticos, particularmente lo que ha acontecido desde mediados del siglo XIX (final de la Pequeña Edad de Hielo) es un error. Hay dudas presentes desde que a finales de ese siglo se planteó la posibilidad de que el incremento del dióxido de carbono atmosférico pudiese aumentar la temperatura; dudas que persistieron a mediados del siglo XX y que parecen no resolverse aún al comenzar el siglo XXI.
8. Los señalamientos y críticas al IPCC tienen sentido, hay coherencia y responden a conceptos manejados por la meteorología y la climatología.
9. Un programa de investigación sobre cambios climáticos debe poner atención a la variación del propio sistema climático, como lo señala en estos años Spencer y lo hizo décadas atrás Smagorinsky.
10. El fenómeno clave, y ausente en muchos análisis, es el albedo.

Cabe señalar, como apunte final, que en el “Sumario para responsables de políticas” del IPCC (2014), no se menciona al vapor de agua, a las nubes, a las oscilaciones oceánicas; hay una mención sobre la actividad solar, indicando que no se esperan cambios imprevistos en la irradiación; hay una mención del forzamiento relacionado con el cambio de albedo, sin profundizar, sin hablar de enfriamiento. Se menciona al CO₂ en 118 ocasiones.

¿Por qué se ignora o descalifica el otro discurso climático si tiene coherencia? Se explorará una explicación en los capítulos VII y VIII. Aunque, tal vez, simplemente, no se ha leído con atención a Plass (1956): “*Cuando hay nubes presentes, el CO₂ es menos efectivo en cambiar la cantidad neta de radiación desde la superficie*” (p. 142).

¿Es posible, como ya se anotó, pronosticar a corto, medio y largo plazo la presencia de más o menos nubes bajas y cuál será el origen y la evolución de dichas nubes?

VI. La paradoja de Fagan

En *El libro del tiempo*, Toharia hace referencia a Brian Fagan, antropólogo y arqueólogo, quien en el año 2000 publicó el libro *La Pequeña Edad de Hielo* (la edición en español apareció en 2008), obra que para Toharia alcanzó justa fama y “constituye quizá el mejor compendio de los sucesos climáticos, casi todos negativos, que ocurrieron en aquella época de enfriamiento casi generalizado” (Toharia, 2013, p. 336) (el periodo abarca de los años 1300 a 1850).

Fagan publicó tres libros más donde analiza el impacto de diversos acontecimientos climáticos en la historia de la humanidad: *La corriente de El Niño y el destino de las civilizaciones* (1999), *El largo verano* (2003) (que comprende desde la última glaciación hasta el final del Periodo Cálido Medieval) y *El gran calentamiento* (2008) (que analiza con más detalle el Periodo Cálido Medieval, de los años 800 a 1300).

Este gran estudio en conjunto de la relación clima-civilizaciones nos ofrece elementos para entender el desafío que el sistema climático, más allá del discurso catastrófico actual, nos plantea. Además de describir los impactos en los grupos humanos del frío, el calor, las inundaciones, las sequías, etc., Fagan ofrece una explicación del origen de algunos de esos cambios en el clima.

A continuación se presenta una selección de conceptos y datos expuestos por este autor, siguiendo el orden cronológico de los acontecimientos, no de la publicación de los libros. No se incluyó el análisis de Fagan en el capítulo IV o en el V por la lección que podemos obtener de la lectura de sus libros, que aquí denomino la *paradoja de Fagan*. Considero que es una buena manera de concluir con esta introducción (provocación) sobre la cuestión climática.

Fagan (2010) explica simplemente el funcionamiento del clima:

El sol sale y se pone, el aire se calienta y se enfría, el agua se evapora, se eleva, se enfría y luego cae en forma de lluvia antes de que empiecen nuevamente los ciclos eternos. Los grandes vientos se disipan inexorablemente por el mundo. Los centros de baja presión se forman, succionan hacia su vacío los sistemas de alta presión y crean masas giratorias de nubes y viento. El clima entra en un ciclo y luego en otro, estalla y vuelve a la calma y todo ocurre porque el sol calienta algunas partes del globo esférico más que otras. (Fagan, 2010, p. 69).

Vayamos, siguiendo siempre a este autor, a unos 15,000 años hacia atrás, al final de la última glaciación: ¿qué ocasionó el término de ese periodo frío que duró miles de años? Más aún, en los últimos 420,000 años, aproximadamente, se han presentado cuatro transiciones de periodos glaciales a periodos cálidos (y se espera que dentro de unos 1,500 a 2,000 años ocurra una nueva glaciación), ¿cuál es el origen de estos cambios?

Fagan (2007) indica que la respuesta puede encontrarse en la teoría que plantea que los cambios en los parámetros orbitales de la Tierra (excentricidad, oblicuidad y precesión del eje) provocan variaciones en la intensidad y distribución de la radiación solar que recibe el planeta, la cual *“desencadena cambios climáticos naturales a gran escala”* (p. 57). Así, el calentamiento global que ocurrió hace 15,000 años es el efecto más reciente de estos grandes movimientos. Agrega que estas transiciones estuvieron acompañadas por un aumento de dióxido de carbono, sin embargo, apunta que el porqué de este rápido incremento *“aún nos es desconocido”* (pp. 57-58).

Añade que el Holoceno (la actual época geológica, posterior a la última glaciación) es uno *“de los periodos de clima estable más largos de los que se tiene registro”* (Fagan, 2007, p. 189). Sin embargo, apunta que en el Atlántico Norte han ocurrido calentamientos y enfriamientos sutiles aproximadamente cada 1,500 años, de los cuales la Pequeña Edad de Hielo constituye el ejemplo más reciente:

Todavía es un misterio cómo se relacionan estos cambios menores y sus efectos sobre la historia humana con los ciclos de gran duración [...] pero seríamos ingenuos, por cierto, si pensáramos que el actual calentamiento no será afectado, algún día, por cambios similares. (Fagan, 2007, pp. 87-88).

Indica que entre los años 10000 y 4000 a.n.e. las temperaturas fueron altas y las lluvias más abundantes, gracias a los cambios en los parámetros orbitales de la Tierra. Estas variaciones expusieron el hemisferio norte a más radiación solar (entre 7 y 8 %) que en tiempos anteriores (Fagan, 2007, p. 196). Pero alrededor de 2800 a.n.e., el clima se tornó repentinamente más seco: la insolación disminuyó en todo el mundo por la modificación del ángulo de la Tierra respecto del Sol (Fagan, 2007, p. 200).

Siguiendo con su recorrido hacia el presente, al hacer referencia a los problemas que afectaron a la humanidad en el Mediterráneo oriental hacia el año 1200 a.n.e., indica que:

Detrás de estos importantes acontecimientos se encontraban las invisibles fuerzas de la atmósfera y el océano, el irregular balancín de la Oscilación del Sur, los caprichosos desplazamientos hacia el norte y hacia el sur de la Zona de Convergencia Intertropical y la circulación oceánica del Atlántico Norte. Las lluvias del monzón avanzaban y retrocedían, llevando la sequía y la destrucción de los cultivos cuando escaseaban o desaparecían por completo. Una ahora más vulnerable humanidad danzaba al son de la música del clima global. (Fagan, 2007, p. 271).

Al analizar el enfriamiento de la temperatura hacia el año 850 a.n.e., habla de la reducción de la actividad de las manchas del Sol, un aumento del flujo de rayos cósmicos y una producción mucho mayor de carbono 14 en la atmósfera (que se forma como consecuencia de la acción de los rayos cósmicos sobre los átomos de nitrógeno). Todos esos cambios, explica:

son indicadores de una reducción de la actividad solar: literalmente, el Sol brilló de una manera menos intensa durante varios siglos. La menguada actividad solar parece haber sido el mecanismo subyacente del cambio a condiciones más frías y húmedas en las latitudes altas y medias. (Fagan, 2007, p. 284).

Agrega que resulta interesante notar que una reducción similar en la actividad del Sol coincidió con el punto más frío de la Pequeña Edad de Hielo muchos siglos después, el llamado Mínimo de Maunder entre 1645 y 1710 (Fagan, 2007, p. 285).

Si bien precisa que no podemos estar seguros de si hay una relación entre la actividad solar y cambios repentinos como el del año 850 a.n.e., destaca que *“hay una coincidencia casi perfecta entre las grandes fluctuaciones de la temperatura global en los últimos 1,000 años y los grandes cambios del nivel de carbono 14 identificados en los anillos de los árboles”*, lo que significa que *“los cambios de larga escala temporal de la radiación solar pueden tener profundos efectos en el clima de la Tierra durante muchos miles de años”* (Fagan, 2007, p. 285).

También menciona el breve periodo frío y seco de los años 535-536 que fue “*el suceso climático singular más abrupto de los últimos 2,000 años, tal vez a causa de un estallido volcánico*” (Fagan, 2007, p. 299).

Se puede sintetizar, siempre citando a Fagan, que:

Nadie sabe exactamente qué es lo que mueve al péndulo del clima. Lo más probable es que los pequeños cambios en la oblicuidad de la Eclíptica de la Tierra sean los responsables de los cambios climáticos. También los ciclos de actividad de las manchas solares traen aparejados cambios [...] Existen otros factores que influyen en el clima, tales como la actividad volcánica [...] Recientemente [...] los climatólogos han llegado a la conclusión de que la compleja interacción entre la atmósfera y el mar, de la que aún se sabe poco, desempeña un papel fundamental en el cambio climático. (Fagan, 2009, p. 39).

También pone atención en los periodos secos que se presentaron entre los años 800 a 1300 en diferentes partes del mundo, como en el oeste de América del Norte y del Sur y en el centro del continente, en el sur y sudeste de Asia y en las costas del océano Índico. De esta manera, se pregunta: “¿Cómo ocurrieron esas sequías y, sobre todo, por qué duraron tanto tiempo?”. Esas “*inusuales condiciones*”, señala, pueden encontrar explicación en las fluctuaciones climáticas que acontecen en el océano Pacífico, ya que “*tienen efectos considerables*”, por ejemplo, en las precipitaciones del oeste de América o la sequía que impacta el este de África, en especial por las consecuencias de los sucesos de El Niño/oscilación del sur, La Niña (su contrapartida seca y fría) y la oscilación decenal del Pacífico (Fagan, 2009, pp. 162-163), interacciones entre el agua de dicho océano y la atmósfera “*de las que aún se sabe poco*” (Fagan, 2009, p. 192).

Fagan (2009) explica que en el Pacífico suroccidental hay una zona conocida como “*el estanque caliente*”, que abarca las aguas del Pacífico ecuatorial occidental entre Nueva Guinea y Samoa, se extiende hasta Indonesia y llega, con menor extensión, hasta el océano Índico: “*sus aguas son las más cálidas del planeta, tanto que envían calor y humedad a lo alto de la atmósfera*” (p. 269), lo que afecta el clima de las masas continentales vecinas: China e India. Así:

Es probable que las lentas fluctuaciones cíclicas del tamaño y la temperatura del estanque caliente estén relacionadas con la intensidad de los sucesos de El Niño, pero se desconoce su causa.

Cuando se genera El Niño, el estanque caliente se traslada al este y se acerca a la línea internacional de cambio de fecha. Un sistema de alta presión se posa sobre Indonesia. El centro de alta presión retrasa los monzones, se instala la sequía [...] Los fuertes sucesos de El Niño/oscilación del sur reducen la cantidad de lluvia que cae sobre gran parte del sudeste asiático, Australia y Nueva Zelanda.

[...] Durante los periodos más fríos y los fenómenos de La Niña, el estanque caliente se traslada al oeste y se aleja de la línea internacional de cambio de fecha. Libres de obstáculos, los monzones llegan al sudeste y al este de Asia, llevando consigo copiosas lluvias; a veces demasiado copiosas. (Fagan, 2009, pp. 269-270).

Indica que La Niña puede ser tan destructiva como El Niño, “*en especial por su capacidad de favorecer las sequías en amplias áreas del planeta*” (Fagan, 2009, p. 304), como sucedió en el Periodo Cálido Medieval, cuando llegó para quedarse varios años.

Fagan (2008) también analiza la oscilación del Atlántico Norte (OAN), influida por su “*caótica atmósfera*”, la cual afecta “*a la temperatura de la superficie oceánica, a la intensidad de la corriente del Golfo, a la estructura de la circulación atmosférica y a la distribución de los témpanos y la cubierta de hielo en los mares*” (p. 62):

Durante muchos siglos, el clima de Europa ha estado a merced de las fluctuaciones caprichosas del índice OAN y de los cambios en los patrones de inmersión en el Ártico. No se sabe qué genera los valores alto o bajo del índice y tampoco se puede predecir el cambio repentino que desencadena los clima extremos, pero sí se sabe que ese índice ha desempeñado un papel fundamental en el clima variable, impredecible y casi siempre muy frío que se estableció en Europa en el siglo XIV. (Fagan, 2008, pp. 62-63, 65).

Con base en esto, Fagan (2008) explica que entre 1890 y 1940 el índice OAN mantuvo valores elevados, por lo que el clima fue más benigno y hubo un flujo de baja presión en el norte de Europa, pero después de 1950 la temperatura del mar volvió a descender, registrándose incluso *“una disminución de la temperatura media mundial”* (p. 295).

Al estudiar la Pequeña Edad de Hielo (1300-1850), Fagan (2008) apunta que no se conoce la razón para explicarla: *“incertidumbre que se debe, en parte, a que aún no se comprende bien el sistema climático de nuestro planeta ni la interacción entre la atmósfera y los océanos, que incide sobre el clima”* (p. 100). No obstante, para explicar sus años más fríos, como ya se comentó anteriormente, indica que la actividad de las manchas solares fue casi nula durante 70 años (el mínimo de Maunder, 1645-1715).

Fagan (2008) señala que en estas condiciones frías extremas también se presentaron periodos de calor. Cabe agregar lo que dice sobre la actividad volcánica y la ceniza expulsada en las erupciones, ya que situada a gran altura *“provoca una disminución en la absorción de la radiación solar debido a la mayor opacidad de la atmósfera, lo que a su vez genera temperaturas superficiales más bajas”* (Fagan, 2008, p. 248), de esta manera, la menor radiación solar:

produce un debilitamiento en la circulación atmosférica en las latitudes más septentrionales y empuja los vientos dominantes del oeste hacia el sur, es decir, a la zona ecuatorial. Las corrientes bajas cercanas al polo también se mueven más hacia el sur. Así, las regiones del norte donde suele haber clima templado tienen primaveras más frescas, con cielos nubosos y más tormentas que lo habitual. La actividad volcánica persistente puede tener consecuencias notables. (Fagan, 2008, p. 248).

Ahora bien, la historia del clima posterior a la Pequeña Edad de Hielo se explica, según Fagan (2008), por la mayor presencia de dióxido de carbono en la atmósfera debido a las actividades humanas, lo cual traerá un futuro catastrófico:

Las temperaturas empezaron a aumentar gradualmente a partir de 1850, pero en el siglo XX el proceso se aceleró debido a un mayor uso de combustibles fósiles y al incremento continuo del volumen de los gases responsables del efecto invernadero. La evolución del aumento de las temperaturas se aceleró a comienzos de la década de 1980, hasta que en la década siguiente alcanzaron temperaturas récord, tanto en los veranos de un calor asfixiante como en los inviernos de temperaturas moderadas. (Fagan, 2008, pp. 24-25).

Así, la Pequeña Edad de Hielo cedió el paso a un nuevo patrón climático, *“caracterizado por un calentamiento continuo y prolongado que, por ahora, no parece que pueda desacelerarse”* (Fagan, 2008, p. 25).

Indica Fagan (2008) que el primer proceso de calentamiento global causado por las actividades humanas se presentó entre 1850 y 1890 debido a la tala ocasionada por la emigración, *“cuando la agricultura intensiva cruzó las fronteras europeas y se implementó en el mundo entero. Como consecuencia del desmonte a gran escala, el dióxido de carbono atmosférico alcanzó niveles inusitados”* (p. 24). Piensa que esta modificación junto con el desarrollo del ferrocarril y los barcos de vapor, fueron los factores que contribuyeron al aumento de la temperatura durante los últimos años del siglo XIX y a la alteración del medio ambiente a escala global. El segundo factor es el uso del carbón, que en esos años ya constituía un problema de contaminación atmosférica en las grandes ciudades (Fagan, 2008, pp. 290-291).

Al igual que Sagan, Fagan (2008) destaca la figura de Hansen en la creación y divulgación del riesgo del calentamiento global debido a los niveles cada vez más altos de dióxido de carbono en la atmósfera, emitido por el uso “indiscriminado” (p. 296) de combustibles de origen fósil. Añade, al analizar la temperatura registrada en las décadas de 1980 y 1990, que desde el testimonio de Hansen en 1988 “*las temperaturas han alcanzado sus niveles más elevados desde el año 1400 y no hay evidencia de que la tendencia se vaya a invertir*” (p. 299). Indica que “*mucha gente cree*” que lo que sucede “*es una consecuencia de los combustibles fósiles y otros contaminantes de origen humano y que no tiene nada que ver con los ciclos naturales de cambio climático. Probablemente tengan razón*” (Fagan, 2007, p. 355):

En las simulaciones por ordenador que se han hecho del clima, el calentamiento de la temperatura superficial que resultó de fluctuaciones conocidas de la radiación solar entre 1600 y la actualidad, es de solamente 0.45 °C. Menos de 0.25 °C pueden ser atribuidos al periodo que va de 1900 a 1990, cuando las temperaturas superficiales se elevaron 0.6 °C. Los cambios en la radiación solar parecen explicar menos de la mitad del calentamiento del siglo XX, un valor considerablemente menor que el de los siglos anteriores. (Fagan, 2007, p. 355).

Indica que los cálculos estadísticos sugieren la probabilidad, de un 90 %, de que los cambios recientes en las temperaturas se deben a la emisión humana de gases que cumplen una función en el efecto invernadero. Si bien señala que: “*Una de las razones por las cuales no sabemos hasta qué punto el cambio climático que hoy estamos viviendo es natural está relacionada con el sol*” (Fagan, 2008, pp. 300-302), debido a sus ciclos y al viento solar, pero más adelante descarta esta opción, al anotar que la radiación solar es un “*fenómeno relevante para el proceso de calentamiento global, pero no es el factor determinante*” (Fagan, 2008, p. 302), que son los gases de efecto invernadero generados por las actividades humanas.

Plantea en su análisis un futuro apocalíptico: “*el calentamiento global acentuará los ciclos naturales del clima en todas sus formas. Algunos de esos potenciales ciclos de cambio climático se contemplan como aterradores en un mundo superpoblado y con un grado enorme de industrialización*” (Fagan, 2008, p. 303). De hecho esta perspectiva ya la exhibe en el primero de sus cuatro libros sobre el clima al decir que el deshielo acelerado causado por la humanidad puede precipitar un cambio climático “*drástico y prematuro en unos pocos siglos*” (Fagan, 2010, p. 111). Más aún:

Ninguna fuerza —ni la superpoblación, ni el calentamiento global, ni los vaivenes climáticos— por sí sola habrá de destruir nuestra civilización, pero la combinación de las tres nos expone al golpe de gracia que podría derribarnos.

[...] Los seres humanos nos hemos adaptado sutilmente al ambiente del planeta durante los últimos diez mil años, pero hemos pagado un alto precio. Desde hace dos siglos, estamos atrapados en la Revolución Industrial que nos colocó, sin que pueda culparse a nadie de ello, en una senda apocalíptica que amenaza nuestra existencia misma. (Fagan, 2010, pp. 319-320).

Y Fagan (2009) concluye así:

Hoy en día, quizá más que hace mil años, vivimos tiempos dramáticos en lo que respecta al clima: ha habido un incremento sostenido de las temperaturas mundiales junto con desastres climáticos, desde tsunamis hasta huracanes [...] Ninguno de los que se autoproclaman profetas se toma el trabajo de dirigir la mirada al cambio climático ocurrido en siglos pasados, salvo para hablar, no sin cierto sesgo político, de si el mundo era más cálido hace mil años. Y no, no lo era.

[...] El debate sobre el calentamiento global antropogénico ha concluido, pues hoy disponemos de evidencias científicas suficientes para asegurar que el futuro del planeta será aún más cálido, y no caben dudas al respecto. Ahora, mientras abordamos la discusión desde otros ángulos, debemos afrontar los problemas a largo plazo reduciendo la emisión de contaminantes y viviendo

con las consecuencias de la fusión de las capas de hielo y la subida del nivel del mar [...] la experiencia del Periodo Cálido Medieval revela que el asesino silencioso, al que con frecuencia no se da la importancia que tiene, es la sequía, incluso durante las épocas de calentamiento moderado.

[...] En este momento, estamos ingresando en una época de aridez extrema, que afectará a gran parte de la población de un mundo en el cual la adaptación a la falta de agua y a las malas cosechas es infinitamente más compleja que en el pasado. (pp. 22-23).

El trabajo de Fagan sobre el impacto de los cambios climáticos en las civilizaciones del pasado es referencia obligada para los estudiosos de este tema. Es necesario indicar, sin embargo, que no está libre de errores, por ejemplo, al decir en *El gran calentamiento* (Fagan, 2009) que los tsunamis son catástrofes climáticas, cuando son fenómenos geológicos (se tratará esto brevemente en el siguiente capítulo), y al decir poco más adelante en ese mismo libro que el mundo no era más cálido hace mil años, cuando en *La Pequeña Edad de Hielo* (Fagan, 2008) apunta que en el Periodo Cálido Medieval “La temperatura media del verano era de 0.8 a 1.0 °C más alta que en el siglo XX. Los veranos de la Europa central aún eran más cálidos, con temperaturas medias 1.4 °C más altas que las actuales” (p. 52).

Refiriéndose al calentamiento de los últimos años, Fagan (2008) habla de “un nuevo patrón climático, caracterizado por un calentamiento continuo y prolongado que, por ahora, no parece que pueda desacelerarse” (p. 25) y “no hay evidencia de que la tendencia se vaya a invertir” (p. 299), mientras que en *El gran calentamiento* apunta que este fenómeno “revela una tendencia creciente, consolidada y bien documentada que no muestra signos de retroceso [...] los humanos somos tantos y producimos tanto que es inevitable que esa tendencia se acelere” (Fagan, 2009, p. 304). Sin embargo, la tendencia no sólo se desaceleró en lo que va del siglo XXI (2001-2016), la temperatura media global no ha registrado un incremento, de hecho, excluyendo los impactos de El Niño, se registra un ligero descenso (Gráfica 1).

No podemos criticar a Fagan por pronosticar al finalizar la década de 1990 que el calentamiento se aceleraría, pero sí por no mencionar la interrupción en el ascenso de la temperatura en su último libro, publicado en 2008, la cual ya tenía diez años. Más aún, Fagan aporta información para dudar del apocalipsis climático que anuncia. En sus cuatro libros habla de la variabilidad natural del clima: de cómo esta produce, por diversos factores o su combinación, que la Tierra se caliente o se enfríe, por periodos cortos (décadas) o largos (cientos o miles de años), sin la influencia del dióxido de carbono (en las páginas anteriores se presentó un breve resumen).

De hecho, cabe preguntar por qué causa tanta angustia el posible aumento de la temperatura, si durante el Periodo Cálido Medieval, como reporta Fagan (2008), las condiciones climáticas fueron “por lo general benignas” (p. 49):

El Periodo Cálido Medieval fue una época de bonanza en Europa [...] Una enorme cantidad de pequeños poblados autosuficientes se emplazaban en valles remotos y en los bordes de los densos bosques; sus habitantes vivían cerca de la tierra de labranza, fundamental para su subsistencia, pues la vida dependía de la generosidad de la cosecha en el verano.

[...] Las heladas de mayo, una verdadera amenaza para los cultivos, prácticamente no existieron en los siglos XII, XIII y XIV.

La población rural y urbana creció notablemente en la Edad Media [...] Gracias a los veranos más cálidos y los inviernos menos rigurosos, los pobladores de las pequeñas comunidades sembraban en suelos marginales y a alturas que antes nunca habían visto una plantación. (Fagan, 2008, p. 52).

Apunta que los humanos siempre hemos vivido en entornos imprevisibles, “en un estado de fluctuación que requiere una adaptación constante y oportuna a los cambios climáticos temporales y duraderos” (Fagan, 2009, p. 20).

Más aún, también señala la incertidumbre que se presenta en la climatología. Se comparte a continuación una selección de fragmentos de *La corriente de El Niño y el destino de las civilizaciones* y *La Pequeña Edad de Hielo* para mostrar esto:

- *Sólo hemos comenzado a comprender las complejas fuerzas climáticas que dan forma al mundo posterior a la Edad de Hielo exterior a los trópicos.* (Fagan, 2010, p. 84).
- *Aún tenemos mucho que aprender de los giros y vueltas de las corrientes atmosféricas y de las corrientes oceánicas, de los cambios operados en las temperaturas de la superficie del mar y en las zonas de convergencia que fogonean este admirable motor del cambio climático global.* (Fagan, 2010, p. 104).
- *Esta nueva ciencia está revolucionando nuestra capacidad de pronosticar los episodios de El Niño y otras anomalías climáticas, aun cuando no seamos capaces de predecir todas sus extravagantes oscilaciones.* (Fagan, 2010, p. 281).
- *El clima en el que vivimos actualmente puede ser más cálido que el habitual, pero su carácter imprevisible no es en modo alguno inusual.* (Fagan, 2010, p. 309).
- *Estas variaciones de temperatura ¿son el resultado de la actividad humana o de los vaivenes climáticos naturales, como lo han documentado los corales y los anillos de los árboles a lo largo de los últimos diez mil años? No lo sabremos hasta que esta tendencia al calentamiento alcance tales niveles que la prueba en contra de la intervención humana sea inequívoca.* (Fagan, 2010, p. 317).
- *Nuestra estrella más cercana siempre ha desempeñado un papel fundamental en el cambio climático global, pero aún no sabemos en qué medida. En rigor, no se ha investigado el tema cuanto era preciso.* (Fagan, 2008, p. 300).
- *Los efectos de esos ciclos [solares] en el clima de la Tierra todavía no se conocen en profundidad.* (Fagan, 2008, p. 301).
- *Los científicos piensan que ese viento solar está relacionado directamente con el cambio climático terrestre: las partículas cargadas que llegan a la atmósfera de la Tierra afectan a las propiedades de las nubes e inciden sobre el porcentaje de nubosidad. Cuando la superficie del Sol presenta múltiples coronas, los vientos solares aumentan y, con ellos, también se incrementa la nubosidad, con lo cual bajan las temperaturas medias. La importancia de este fenómeno es una interrogante que los expertos aún no han resuelto.* (Fagan, 2008, p. 301).

“Calentamiento benigno” sin la necesidad de mencionar al CO₂, “incertidumbre”, lo “imprevisible”... ¿esto define la *paradoja de Fagan*? ¿Dónde está lo aparentemente ilógico en este autor?

No son los datos que comparte sobre la variabilidad natural en sí, que indudablemente llevan a cuestionar el discurso climático catastrofista al que se adhiere (cabe agregar que destaca el trabajo de Al Gore en *El gran calentamiento* y en la edición en español de *La corriente de El Niño y el destino de las civilizaciones*, presentada después del documental *Una verdad incómoda* y el ex vicepresidente recibiera el premio Nobel). Tampoco es la contradicción en la que cae lo que define esta paradoja.

Se puede concluir después de leer a este autor con atención —y aquí está la paradoja— que en caso de que la humanidad logre disminuir de manera importante la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera (política de mitigación) no estará libre de sufrir “catástrofes” climáticas, ya que estas se presentaron cuando el nivel de dióxido de carbono atmosférico era más bajo incluso del que existía hacia el año 1750, cuando se considera el comienzo de la Era Industrial. Podríamos hacer, gracias a la geoingeniería (sin olvidar los riegos), que los niveles de CO₂ vuelvan a estar por debajo del 0.03 % de la composición atmosférica, lo que no nos libraría de décadas o siglos calurosos (o fríos), de sequías, de tormentas e inundaciones, de veranos sofocantes e inviernos crudos, etc., que es lo que pretende evitar el IPCC y es lo que presenta Fagan en sus cuatro libros.

La *paradoja de Fagan* indica que la política climática global que pretende imponer Naciones Unidas a través del IPCC y la CMNUCC no nos hará “inmunes” al clima. Se propone que el CO₂ atmosférico regrese al nivel que tenía al comienzo de la Revolución Industrial, alrededor del año 1750, en ese entonces el mundo padecía los efectos de la Pequeña Edad de Hielo. Nada garantiza, entonces, que después de eliminar, capturar, reducir carbono, el mundo tenga un clima “benigno”. Según Fagan, el aumento del dióxido de carbono en la atmósfera por las actividades humanas determinó en buena medida que se saliera de la Pequeña Edad de Hielo; considerando el sufrimiento soportado durante esos siglos, que él mismo comenta, ¿no sería el calentamiento global algo bueno? Y es necesario añadir que Fagan no explica por qué se presentó el aumento de temperatura en la Baja Edad Media, teniendo en cuenta que en esas décadas no se quemó carbón y petróleo...

Los fenómenos o factores que presenta Fagan para explicar los cambios climáticos del pasado son los mismos que señalan los científicos que critican o cuestionan al IPCC (los calificados como “negacionistas”); estos factores tienen que ver con la variabilidad natural del clima: nubes, actividad solar, corrientes oceánicas, actividad volcánica, etc. Y así como los críticos hablan de incertidumbre, Fagan también lo hace: ¿este divulgador del apocalipsis climático es también “negacionista”?

Después de leer a Fagan podemos decir que en menos de 2,000 años se presentará otra glaciación, que habrá intensos El Niño y La Niña, que otras oscilaciones oceánicas llevarán a los continentes aire cálido o frío así como humedad o sequía, que una gran erupción volcánica puede hacer caer la temperatura; podemos cuestionar que el dióxido de carbono sea el único responsable del calentamiento registrado desde finales de la década de 1970; podemos pensar que el anuncio hecho por Abdussamatov (2012), Velasco, Mendoza y Velasco (2015) que durante el siglo XXI se presentará un enfriamiento global, debido a la menor actividad solar, tiene sentido; podemos concluir que no hay razones para temer un futuro apocalíptico, sí con complicaciones, como siempre ha sido y será, pero no el “golpe de gracia” que anuncia. Sin embargo, Fagan (2008), paradójicamente, no lo piensa así:

Aún quedan por resolver muchos interrogantes acerca de la Pequeña Edad de Hielo, pero, aunque no tengamos forma de probarlo, podemos estar seguros de que existieron varias “edades de hielo” menores en el Holoceno temprano. Dado el carácter cíclico natural de los cambios climáticos, cabría esperar que se produjera otro episodio similar, de no ser por la insoslayable alteración del modelo climático efectuada por el hombre a partir de la Revolución Industrial, cuando comenzó a utilizar combustibles fósiles a gran escala. (p. 103).

¿Por qué Fagan se concentra en las propiedades de absorción del infrarrojo del dióxido de carbono e ignora todo lo demás? ¿Por qué adopta una postura apocalíptica cuando él mismo habla de la capacidad de adaptación de la humanidad a los cambios climáticos? De hecho su postura es la misma que la de Sagan y Hansen y muchos científicos del IPCC y divulgadores del discurso catastrofista, ¿por qué?

Considero que es un asunto de paradigmas (modelos, supuestos aceptados), lo cual se abordará, por su importancia en la construcción de imágenes y proyectos del mundo —y así de políticas públicas— en el siguiente capítulo.

VII. Revolución

“El debate sobre el calentamiento global antropogénico ha concluido, pues hoy disponemos de evidencias científicas suficientes para asegurar que el futuro del planeta será aún más cálido, y no caben dudas al respecto” (Fagan, 2009, p. 33). Esto se puede considerar un “grito de guerra” del IPCC y sus seguidores, sin importar si son científicos, académicos, políticos, periodistas, empresarios, activistas, etc. Este “fin del debate” descalifica a los que cuestionan dicha idea. Según Jacobs (2014), como ya vimos, hay “*poderosos intereses creados*” que buscan “*pasar por alto la realidad del cambio climático*”. En este sentido también escribe el economista Jeffrey Sachs:

La realidad es que los críticos, cuyo número es pequeño, pero sus ataques son agresivos, están desplegando tácticas que han ido perfeccionando durante más de 25 años. Durante su larga campaña, han exagerado los desacuerdos para detener las medidas contra el cambio climático y han contado con la financiación de grupos de interés especiales, como ExxonMobil. (Sachs, 2010, p. 6).

Este autor de hecho sostiene que hay grandes sumas de dinero respaldando a los “*negacionistas del cambio climático*”, el cual proviene de empresas que no quieren pagar los costos suplementarios de la reglamentación o de ideólogos del mercado libre opuestos a cualquier control de tipo estatal (como es el caso del Instituto Heartland). Más aún, advierte que: “*Estamos presenciando un proceso previsible por parte de los ideólogos y los grupos de estudio y las publicaciones de extrema derecha para desacreditar el proceso científico*” (Sachs, 2010, p. 6).

El biólogo José Sarukhán (2012) considera como “*anticientífico*” que se presente otra explicación sobre el calentamiento global, ya que hay una “*montaña de evidencia científica acumulada en las últimas décadas*” que demuestra que el calentamiento es consecuencia de la actividad humana (consumo de combustibles de origen fósil y deforestación). Más aún, compara a los críticos de esta teoría con los grupos religiosos fundamentalistas que niegan la evolución de las especies.

Lo expuesto en los capítulos IV y V de este libro permite concluir que hay ciencia sustentando tanto la crítica al IPCC como a la teoría que propone que los diferentes factores que podemos distinguir como variabilidad natural del clima son la causa del calentamiento global experimentado en las últimas décadas, y que el impacto humano es menor. Más aún, en caso de que se reanude el ascenso de la temperatura media global en algún momento del siglo XXI, no tendrá consecuencias catastróficas en sí mismo, más bien, seguirán presentándose, como algo inevitable y constante en la historia.

Sobre la supuesta “desacreditación” del proceso científico, recordemos que fue Gore (1993) el que invitó a dejar de tratar el problema como “un asunto científico”. La crítica al IPCC no niega el calentamiento (las mediciones de satélite lo demuestran); no se niegan las propiedades de absorción del infrarrojo de varios gases atmosféricos, particularmente del dióxido de carbono. Lo que se cuestiona, como ya se ha dicho, es la exageración de esto, que se ignore la complejidad y el caos del sistema climático de la Tierra, que se ignore la variabilidad natural y que se anuncie un futuro apocalíptico.

No se profundizará en el tema del supuesto financiamiento que grupos de interés entregan a científicos para que cuestionen al IPCC; como se ha demostrado, dudas sobre el impacto del aumento del dióxido de carbono atmosférico en la temperatura y sus catastróficos efectos existen desde antes de que se creara el IPCC. ¿Cómo explicar, dentro de esa lógica del financiamiento de la crítica por parte de ideólogos del libre mercado o la ultraderecha o petroleras, que autores con una clara perspectiva marxista hayan expresado dudas sobre el cambio climático de origen humano? Este es el caso del estudioso del medio ambiente Humberto Tommasino, el antropólogo Guillermo Foladori y la geógrafa Daniela Onça.

Tommasino y Foladori (2001) sostienen que la relación:

Producción de CO₂ → Calentamiento global → Elevación del nivel del mar y cambios en la producción

es presentada de manera lineal y mecánica por la prensa; y de que se relacionan efectos de largo plazo —inclusive siglos— con cambios inmediatos (como cuando se responsabiliza por inundaciones, ciclones, tormentas, sequías etc., a lo largo y ancho del mundo, al aumento antrópico de la temperatura mundial) los científicos saben muy bien que existen más incertidumbres que respuestas, y que no hay ninguna relación lineal ni mecánica en estos factores.

Las incertidumbres en torno a los problemas climáticos son numerosas y complejas, ya que todos los elementos se interrelacionan. (Tommasino y Foladori, 2001).

Años después, Foladori (2007) mantuvo una mirada crítica sobre el tratamiento del cambio climático, señalando la posición “tecnocentrista” que domina el problema, la cual no altera la dinámica capitalista ni mejora las condiciones de vida de los millones de pobres que sufren las consecuencias de los eventos naturales extremos, “sean estos consecuencia o no del calentamiento global” (p. 44).

Onça (2011) defiende la idea de la variabilidad natural del clima. En su investigación reunió pruebas y evidencias científicas contrarias a la hipótesis del calentamiento global causado por los seres humanos. Argumenta que el clima está en permanente transformación y no puede ser reducido a un producto de las variaciones de la concentración atmosférica del dióxido de carbono. Señala que la preocupación por los cambios climáticos no es una novedad histórica más, sin embargo, a pesar de esto, nuestro desconocimiento sobre el funcionamiento del sistema climático es aún desafiante. Concluye que la hipótesis del calentamiento global antropógeno no es consensual y ejerce hoy la función de “ideología legitimadora del capitalismo tardío” (p. 13), perpetuando la exclusión social disfrazándose de compromiso con las generaciones futuras.

Así, presenta una lista de factores relacionados con los cambios climáticos, dividiéndolos en terrestres, astronómicos y extraterrestres. Sobre los terrestres, considera a los gases “invernadero”, aerosoles, nubes, cambios en el uso de la tierra, vulcanismo, modos de variabilidad (oscilaciones oceánicas, cambios en la circulación atmosférica) y mecanismos de retroalimentación (hielo, fertilización por carbono, los océanos como absorbentes de energía y sumideros de carbono, cambios en el uso de la tierra); los astronómicos son cambios en la geometría de la Tierra (excentricidad de la órbita, oblicuidad y precesión) y los extraterrestres responden a la actividad solar (Onça, 2011).

Resume también hipótesis alternativas a la idea dominante del calentamiento global, señalando a: i) los anticiclones polares móviles, propuesta polémica elaborada por el climatólogo francés Marcel Leroux; ii) el Sol, que de manera indirecta también interfiere en el balance de la energía terrestre, siguiendo la teoría de los rayos cósmicos de Svensmark; iii) la Luna, que afecta al clima a través de las variaciones en

la intensidad de las mareas, retomando lo expuesto por los climatólogos Charles Keeling y Timothy Whorf; iv) la Oscilación Decenal del Pacífico (también considerada, recordemos, por Spencer) (Onça, 2011).

Ahora bien, más allá de la teoría del calentamiento global causado por el ser humano, existen críticas a la metodología del IPCC y a su organización y procedimiento. Se toman las palabras de dos meteorólogos ya citados en este libro: Toharia y Spencer.

Toharia (2013) señala que el IPCC *“no es sagrado, y sus informes y estudios pueden y deben ser criticados desde el punto de vista científico, cuando habla de ciencia, y matemático, cuando se expresa en términos estadísticos”* (p. 377). Considera que este organismo también hace análisis indeterminados, al utilizar expresiones como *“resulta muy probable”*. Si bien reconoce que los modelos actuales tienen mucha ciencia detrás, considera que: *“Otra cosa es que eso sea suficiente como para tomarlos por oráculos casi infalibles, que es la impresión que dan los expertos de la órbita del IPCC”* (p. 385).

Señala que este grupo de expertos no investiga el cambio climático: *“sino que acepta que existe y tiene consecuencias, por lo que intenta obtener datos científicos al respecto con el fin de hacer recomendaciones”* (Toharia, 2013, pp. 409-410). De esta manera, sobre los Informes del IPCC indica: i) que se apoyan sobre un gran fondo de muchas especialidades científicas, ii) que toda esa ciencia ha sido preseleccionada de tal manera que se garantice *“una especie de consenso previo en torno no sólo a la existencia de un cambio climático obvio sino de su extrema gravedad”*, iii) que toda esa ciencia, ya sesgada en algunos de sus planteamientos, es sintetizada, revisada y filtrada por un reducido número de expertos para elaborar el informe final, que es modificado con criterios políticos por el plenario (Toharia, 2013, pp. 414-415).

Concluye que los informes del IPCC constituyen *“el cuerpo doctrinario que representaría al famoso consenso”*, y como todas las doctrinas sus *“adeptos”* no aceptan críticas, a pesar de que surgen desde la ciencia y deberían poner el acento en la duda, el desconocimiento y las incertidumbres,

porque así es como funciona, o debe funcionar la ciencia. El método científico no se basa en consensos ni en doctrinas más o menos indiscutibles, sino que exige debates y discusiones que acentúen las dudas, los errores, los niveles de incertidumbre. Espíritu crítico, en suma; no seguidismo autoritario. (Toharia, 2013, pp. 555-556).

Toharia concide con Curry, y Spencer.

En *The Great Global Warming Blunder*, Spencer (2012) también denuncia la *“politización de la ciencia”* por el IPCC. Dice que su proceso para revisar la ciencia del calentamiento global y el cambio climático ha sido una *“perversión peculiar”* de la usual práctica de investigación científica, ya que la ciencia normalmente implica la prueba de hipótesis alternativas, no tomar la primera que se presenta y entonces pegarse religiosamente a ella, que es lo que ha hecho el IPCC (p. xviii).

Más aún, señala que este panel no hace investigación científica, es principalmente *“un grupo de apoyo que se encubre a sí mismo con el aura de la respetabilidad científica”* (Spencer, 2012, p. xviii), mientras que elige selectivamente los estudios científicos que mejor apoyan sus objetivos políticos y marginaliza o ignora los estudios que pudiesen contradecir la línea oficialmente adoptada. Por lo tanto, tampoco es políticamente neutral, aunque así se presenten (Spencer, 2012, p. xviii).

Apunta Spencer (2012) que el *“Resumen para responsables de políticas”* no es escrito por cientos de científicos, sino por alrededor de *“cincuenta creyentes escogidos que sesgan la ciencia del cambio climático para apoyar objetivos políticos específicos, los cuales no han cambiado en toda la existencia del IPCC”* (pp. xviii-xix). Concluye que este organismo no fue encomendado para encontrar explicaciones alternativas al calentamiento global: *“su propósito fundacional fue construir el caso científico de que la humanidad es la culpable”* (pp. 119-120).

Retomando el señalamiento que hace Sarukhán (2012) sobre el carácter *“anticientífico”* de los críticos de la teoría del cambio climático causado por los seres humanos, ¿es *“científico”* que se hable de Venus para advertir sobre lo que podría suceder en la Tierra, teniendo en cuenta lo ya explicado en el

capítulo II, o que se diga que el calentamiento global causa la disminución de la capa de ozono y catástrofes “climáticas” como tsunamis y que provocará en un futuro que se evaporen los océanos, se seque el Amazonas, desaparezca el monzón?

La disminución o degradación de la capa de ozono (el mal llamado “agujero” en la capa de ozono) es consecuencia de la reacción con esta del cloro (Cl) que formaba parte de CFC, gases que al llegar a la estratosfera se disocian debido a la radiación ultravioleta; el calentamiento global no tiene relación.

Los tsunamis o maremotos son fenómenos geológicos, no climáticos, producidos por el desplazamiento vertical de una gran cantidad de agua, esto es provocado generalmente por terremotos, así, el nombre correcto de este fenómeno debe ser “maremoto tectónico”, aunque también pueden producirse por erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra o meteoritos, no por variaciones climáticas (los ciclones más intensos no generan olas con la energía y tamaño que provocan los maremotos).

Los océanos se evaporarán dentro de miles de millones de años con la muerte del Sol, por la expansión de su atmósfera. En caso de que aumente la temperatura del planeta varios grados, por la causa que sea, la consecuencia será una intensificación del ciclo del agua, es decir, más precipitaciones... ¿No sucede esto con El Niño y las oscilaciones oceánicas? Y es imposible que se evaporen los océanos en un mundo más frío, como algunos pronostican será el siglo XXI debido a la menor actividad solar, o dentro de varias centurias, por otra glaciación...

Sobre la desaparición del Amazonas y el monzón, se retoma lo dicho por el ingeniero químico Mario Molina, premio Nobel de Química (1995), no sólo por esa observación, sino por otro aspecto al que hace referencia. El 12 de noviembre de 2010, Molina impartió la conferencia “El cambio climático: ¿mito o realidad?” dentro del festival *La Ciudad de las Ideas*, celebrado en la ciudad de Puebla, México, en esta dijo:

Aquí nada más menciono algunos de los problemas enormes que podríamos tener con cierta probabilidad, como que se seque el Amazonas, desaparezca el monzón, si la temperatura subiera a estos grados que son los umbrales de temperatura. Mencionando además que esto es prácticamente irreversible. Bueno, sí podría regresar el clima, pero se tardaría varios milenios. A menos de que aprendamos cómo extraer bióxido de carbono de la atmósfera, pero por el momento es mucho más sencillo no emitirlo. (Molina, 2010).

Estas palabras son un buen ejemplo de desinformación y alarmismo, de divulgación del apocalipsis climático. Es lamentable que provengan de un premio Nobel con una gran influencia en la toma de decisiones en lo gubernamental, empresarial y académico, y precisamente por esto se le da más importancia. ¿En qué se basó Molina? Quizá construyó su conjetura a partir de un artículo publicado en el año 2009 en la revista *Nature Geoscience*, titulado “Southward Movement of the Pacific Intertropical Convergence Zone AD 1400-1850” (Movimiento hacia el sur de la zona de convergencia intertropical del Pacífico AD 1400-1850). El Amazonas y el monzón son consecuencia de las lluvias de la zona de convergencia intertropical (ZCIT). Los autores de ese artículo identificaron que la ZCIT estuvo alrededor de 500 km más al sur durante la Pequeña Edad de Hielo y concluyeron que “un incremento de los gases de efecto invernadero podrían potencialmente cambiar la principal banda de precipitación en los trópicos” (Sachs et al., 2009, p. 523).

Ahora bien, si la ZCIT se desplazara más al norte como consecuencia de un calentamiento global (por la causa que fuese), se presentarían efectivamente menos lluvias en las tierras altas del Amazonas, pero más en las tierras bajas, como sucedió en el Pleistoceno (Harris y Mix, 1999), no se secaría este gran río, el más caudaloso del planeta.

Sobre el monzón, lo que no dijo Molina es que este fenómeno suele desaparecer:

Los periodos de hambre en la India de finales del siglo XIX fueron la consecuencia directa de una serie de ausencias de vientos monzones debido a El Niño. La falta de monzones no era algo nuevo. Mil años antes, millones de habitantes del sur y del sudeste asiático, y de las costas del océano Índico, desde el Nilo hasta China, estaban a merced de los monzones y de su compleja relación con los fenómenos de El Niño y La Niña. (Fagan, 2009, p. 260).

Más allá de las imprecisiones sobre el Amazonas y el monzón, lo que más intriga de lo dicho por Molina (2010) es cuando señala que la subida de la temperatura es “*prácticamente irreversible*”, agregando: “*sí podría regresar el clima, pero se tardaría varios milenios*”.

¿A qué se refiere con *regresar el clima*? ¿A qué momento óptimo debe *regresar*? Siguiendo la lógica del IPCC, a la etapa anterior a la Revolución Industrial, antes de que se emitieran a la atmósfera toneladas de dióxido de carbono, es decir, *regresar* hacia el año 1750. Pero, como ya vimos, padecía la humanidad en esos años los efectos de la Pequeña Edad de Hielo, no era un clima óptimo. ¿Qué clima quiere que *regrese* el Nobel? Porque ir más atrás de la Pequeña Edad de Hielo es regresar al Periodo Cálido Medieval, pero, ¿no se busca evitar más calor para que no se seque el Amazonas y desaparezca el monzón?

Quizá podamos entender a Molina si reflexionamos en lo escrito por Schifter (1996) sobre el caos, citado anteriormente:

El desorden se presenta entonces como algo que nunca debió haber existido y en el dominio de las ciencias se le acusa de delincuente que viola las “leyes de la naturaleza”. Durante mucho tiempo, la ciencia ha hecho suyo el credo de que detrás de los desórdenes aparentes de la naturaleza siempre existe un orden escondido. (p. 15).

El clima que añora Molina (2010) es, en realidad, ese “orden escondido”. No es un asunto climatológico, sino epistemológico, existencial. Es absurdo plantear que *regrese* el clima, y esto tiene que ver con la dinámica del propio sistema climático: no es un fenómeno estático o con estados cuyos comportamientos se puedan controlar. Sin duda hay oscilaciones, ciclos, pero explicar su origen, sus irregularidades, sus cambios implica entender la incertidumbre, y el hecho de que nadie predijera que la temperatura no iba a aumentar en los primeros años del siglo XXI (Gráfica 1), a pesar del aumento del dióxido de carbono, es muestra de que es imposible hallar ese “orden escondido”. Hoy se pronostica alternativamente un enfriamiento global, pero no hay total certeza al respecto. Lo que la ciencia del caos trajo al concluir el siglo XX —gracias a un estudio meteorológico, recordemos— fue un anuncio que obviamente no a todos agradó: parece que estamos cerca, pero en realidad estamos lejos de poder controlar a la naturaleza. Y este control, este *regreso* a un clima ideal, que nunca ha sido ni será, es un supuesto equivocado de Molina, el IPCC y sus seguidores: ignoran la *paradoja de Fagan*.

De hecho, para el historiador Federico Di Trocchio en *Las mentiras de la ciencia*, publicado originalmente en 1993, los científicos mienten (engañan, estafan, falsifican) —tómese esto como una crítica a la comunidad científica en general— porque simplifican, ignoran “*pequeños efectos perturbadores*” (Di Trocchio, 2013, p. 17):

Pero lo caótico, la fealdad y la irregularidad no constituyen las peores características de los sistemas no lineales: el verdadero problema, el origen de su carácter caótico, reside en que en ellas no se pueden descuidar los detalles, las pequeñas variaciones de parámetros en apariencia poco influyentes. (Di Trocchio, 2013, p. 495).

Se miente cuando se presentan fenómenos “*sustancialmente caóticos como regulares, ordenados y precisos*” (Di Trocchio, 2013, p. 497). La exactitud, dice, “*es sólo un telón con el que los científicos han procurado cubrir los fenómenos del mundo real. Bajo ese telón está el caos*”. Así, lo que hace impostores a los científicos es la ignorancia del caos:

La ciencia ha comprendido simplemente que no puede sino aceptar el desafío de la complejidad, y se dispone a delinear el orden escondido y extraño que regula los fenómenos que ocurren de manera aparentemente accidental e inexacta. La ciencia, por lo tanto, deberá concentrarse en los próximos años en aquello que hasta ahora nos ha parecido casual y accidental, y esto tendrá repercusiones notables en el método y en la manera de trabajar de los científicos [...]Caerá el presupuesto más

importante y antiguo de la ciencia experimental: la idea o hipótesis de la uniformidad de la naturaleza. (Di Trocchio, 2013, pp. 500-501).

Ahora bien, el problema de esas falsificaciones científicas, siguiendo a Di Trocchio (2013), es que van más allá de la ciencia: se hacen esencialmente para obtener financiamiento a través de los organismos estatales, que son los que deciden qué estudios o proyectos de investigación merecen la ayuda económica y su monto. De esta manera, las disputas entre científicos se transforman en asuntos de Estado. Critica por lo tanto el sistema de “control por los pares” (científicos que evalúan los artículos de otros científicos para su publicación en revistas académicas):

En la práctica, el primer defecto del sistema de control por los pares es favorecer el mantenimiento del establishment, eliminando de forma sistemática tanto a los aficionados [...] como a todos aquellos que poseen una preparación científica regular y se ocupan de investigaciones que resultan demasiado innovadoras respecto de las ideas que predominan en la comunidad científica. Son investigaciones que consisten, como sostiene el historiador de la ciencia Thomas Kuhn, en pasar de las etapas de la ciencia normal (en donde no se hace más que explicar las consecuencias y en buscar nuevas tecnologías a partir de descubrimientos ya envejecidos) a la etapa de la ciencia revolucionaria que da origen a nuevas hipótesis, nuevas teorías y nuevos descubrimientos. (Di Trocchio, 2013, pp. 157-158).

Señala que lo que distingue una teoría científica “verdadera” de una “falsa” es “la duración y la amplitud de consenso que le otorga el mundo científico, es decir, la comunidad de científicos”. El problema es que los “estafadores, que son científicos de profesión, naturalmente lo saben y se sirven de sus conocimientos y su competencia para preparar las cosas a fin de que su engaño se descubra lo más tarde posible” (Di Trocchio, 2013, p. 490).

Paul Feyerabend, filósofo de la ciencia, también aporta elementos para entender las exageraciones y descalificaciones expresadas por algunos de los miembros del IPCC y sus seguidores. Se toman algunos fragmentos de su libro *Tratado contra el método*, escrito en la década de 1970.

Se pregunta Feyerabend (2010): “¿cómo podemos contrastar, o mejorar, la verdad de una teoría si está construida de manera tal que cualquier suceso concebible puede describirse y explicarse en términos de sus principios?” (p. 29). Esto, sostiene, es “fraudulento”, ya que refuerza un conformismo oscurantista, conduce a un deterioro de las capacidades intelectuales y destruye el poder de la imaginación, mientras habla de verdad, de conocimiento profundo y educación (p. 29).

Indica que los científicos desean universalizar lo que ellos consideran que son las reglas del método científico: “desean que formen parte de la sociedad en general y para conseguir sus propósitos emplean todos los medios disponibles: argumentos, propaganda, tácticas de presión, intimidación, cabildeos” (Feyerabend, 2010, p. 211). Por lo que:

Una idea no se examina nunca en todas sus ramificaciones y ningún punto de vista recibe jamás todas las oportunidades que merece. Las teorías se abandonan y sustituyen por otras explicaciones más de moda, mucho antes de tener la oportunidad para mostrar sus virtudes. (Feyerabend, 2010, p. 33).

En la ciencia, advierte, “se está sujeto a la propaganda e implicado en una lucha entre fuerzas opuestas” y la argumentación “no es más que una forma sutil y máximamente efectiva de paralizar a un oponente confiado” (Feyerabend, 2010, p. 189).

Apunta que la mayor parte de los científicos “aceptan juicios de valor básicos al fiado, que ellos no los examinan, sino que simplemente se doblan ante la autoridad de sus colegas especialistas”. De esta manera “se verá entonces que ‘el juicio científico común’ no es muy común y, ciertamente, no es

muy sagaz” (Feyerabend, 2010, p. 192). Añade que algunos “*eminentes científicos*” conservan teorías refutadas porque no se dan cuenta de ello, de que son “*incompatibles con observaciones y experimentos establecidos y las alaban por su excelencia*” (Feyerabend, 2010, p. 195).

Para Feyerabend (2010), el escepticismo en la ciencia es mínimo y va dirigido contra el punto de vista de la oposición y las ramificaciones menores de las ideas básicas, nunca contra las ideas básicas propias:

El ataque a las ideas básicas provoca reacciones de tabú que no son más débiles que las reacciones tabú en las llamadas sociedades primitivas. Las creencias básicas son protegidas por esta reacción así como por las elaboraciones secundarias [...] y cualquier cosa que no consiga encajar dentro del sistema de categorías establecido o se afirma que es incompatible con este sistema, o bien se considera como algo totalmente horroroso, o bien, lo que es más frecuente, se declara sin más inexistente. La ciencia tampoco está dispuesta a erigir el pluralismo teórico en fundamento de la investigación [...] Las semejanzas entre ciencia y mito son ciertamente asombrosas. (Feyerabend, 2010, pp. 292-293).

Aquí cabe preguntar: ¿hay gran diferencia entre lo dicho por un premio Nobel que espera que el clima “regrese” y un indio tepehuán que aclama a los dioses en su patio para que el mundo no se seque?

La descalificación a los críticos de la teoría del calentamiento global causado por las actividades humanas y los errores y exageraciones sobre el origen y las consecuencias de este calentamiento son un excelente ejemplo de la noción de paradigma propuesta por el historiador y filósofo de la ciencia Thomas Kuhn en su libro *La estructura de las revoluciones científicas*, publicado en 1962. Se presentan a continuación algunos conceptos de esta obra.

Kuhn (1971) indica que un paradigma “*es un modelo o patrón aceptado*”, en una ciencia “*es raramente un objeto para renovación [...] es un objeto para una mayor articulación y especificación*” (p. 51). El paradigma estructura la actividad científica “normal”, es decir, el proceso de estudio de la naturaleza (y la sociedad, podemos agregar).

Pero ese modelo aceptado, esa articulación “normal” es una empresa de limpieza: es como un intento de obligar a la naturaleza a que encaje dentro de los límites preestablecidos y relativamente inflexibles del paradigma:

Ninguna parte del objetivo de la ciencia normal está encaminada a provocar nuevos tipos de fenómenos; en realidad, a los fenómenos que no encajarían dentro de los límites mencionados frecuentemente ni siquiera se los ve. Tampoco tienden normalmente los científicos a descubrir nuevas teorías y a menudo se muestran intolerantes con las formuladas por otros [...] la investigación científica normal va dirigida a la articulación de aquellos fenómenos y teorías que ya proporciona el paradigma. (Kuhn, 1971, pp. 52-53).

Añade que: “*La decisión de rechazar un paradigma es siempre, simultáneamente, la decisión de aceptar otro, y el juicio que conduce a esa decisión involucra la comparación de ambos paradigmas con la naturaleza y la comparación entre ellos*” (Kuhn, 1971, p. 129). Pero el avance de la ciencia tiene que ver con el cambio de paradigmas cuando estos ya no permiten explicar precisamente lo que sucede en la naturaleza; en este momento el modelo “aceptado” entra en crisis:

Todas las crisis se inician con la confusión de un paradigma y el aflojamiento consiguiente de las reglas para la investigación normal. A este respecto, la investigación durante las crisis se parece mucho a la que tiene lugar en los periodos anteriores a los paradigmas, con excepción de que en el primer caso el lugar de la diferencia es, a la vez, más pequeño y mejor definido. Y todas las crisis concluyen con la aparición de un nuevo candidato a paradigma y con la lucha subsiguiente para su aceptación. (Kuhn, 1971, pp. 138-139).

Así, de acuerdo a Kuhn (1971), los científicos se enfrentan a “*anomalías o crisis*” adoptando una actitud diferente hacia los paradigmas existentes y en consecuencia la naturaleza de su investigación cambia: “*La proliferación de articulaciones en competencia, la disposición para ensayarlo todo, la expresión del descontento explícito, el recurso a la filosofía y el debate sobre los fundamentos, son síntomas de una transición de la investigación normal a la no-ordinaria*” (p. 148). Precisa que para que una nueva teoría tenga éxito “*deberá permitir ciertas predicciones que sean diferentes de las derivadas de su predecesora. Esta diferencia podría no presentarse si las dos teorías fueran lógicamente compatibles. En el proceso de su asimilación, la segunda deberá desplazar a la primera*” (p. 157).

Añade que “*los paradigmas sucesivos nos indican diferentes cosas sobre la población del Universo y sobre el comportamiento de esa población*”. Más aún:

los paradigmas se diferencian en algo más que la sustancia, ya que están dirigidos no sólo hacia la naturaleza, sino también hacia la ciencia que los produjo. Son la fuente de los métodos, problemas y normas de resolución aceptados por cualquier comunidad científica madura, en cualquier momento dado. Como resultado de ello, la recepción de un nuevo paradigma frecuentemente hace necesaria una redefinición de la ciencia correspondiente. (Kuhn, 1971, p. 165).

Cuando cambian los paradigmas, señala Kuhn (1971), hay normalmente “*transformaciones importantes de los criterios que determinan la legitimidad tanto de los problemas como de las soluciones propuestas*” (p. 174). Es decir, estamos ante una “*reformulación revolucionaria de la tradición científica anterior, tradición en la que la relación que intervenía en los conocimientos entre el científico y la naturaleza no era exactamente la misma*” (p. 220).

Pero Kuhn (1971) no sólo pone atención en la dinámica de la ciencia como actividad, sino en lo que sucede con el científico como persona, ya que debido a que son seres humanos “*no siempre pueden admitir sus errores, ni siquiera cuando se enfrentan a pruebas concretas*” (p. 235). Más aún, la “*transferencia de la aceptación de un paradigma a otro es una experiencia de conversión que no se puede forzar*” (p. 235):

La resistencia de toda una vida, sobre todo por parte de aquellos cuyas carreras fecundas los han hecho comprometerse con una tradición más antigua de ciencia normal, no es una violación de las normas científicas, sino un índice de la naturaleza de la investigación científica misma. La fuente de la resistencia reside en la seguridad de que el paradigma de mayor antigüedad finalmente resolverá todos sus problemas, y de que la naturaleza puede compelerse dentro de los marcos proporcionados por el paradigma. En épocas revolucionarias, inevitablemente esa seguridad se muestra como terca y tenaz, lo que en ocasiones incluso llega a ser. (Kuhn, 1971, p. 235).

Concluyendo: adoptar un nuevo paradigma es “*una decisión entre métodos diferentes de practicar la ciencia y, en esas circunstancias, esa decisión deberá basarse menos en las realizaciones pasadas que en las promesas futuras*” (Kuhn, 1971, p. 244). En esto hay fe, se espera que “*el nuevo paradigma tendrá éxito al enfrentarse a los muchos problemas que se presenten en su camino, sabiendo sólo que el paradigma antiguo ha fallado en algunos casos*” (Kuhn, 1971, p. 244).

Kuhn habla de resistencia, compromiso (con la tradición antigua o aceptada), terquedad, de ocultar lo insustentable... ¿No es esto lo que encontramos en la descalificación a los críticos del IPCC, en el sostenimiento a ultranza de la teoría del cambio climático causado por el ser humano y en el planteamiento de los escenarios climáticos apocalípticos?

Estamos ante el fin de un paradigma (climático-antropógeno) y el surgimiento de otro (climático-natural). Estamos, siguiendo a Kuhn, ante una *revolución científica*.

Es obvio que al revisar la historia de la ciencia comprobaremos lo dicho por Kuhn; pero es interesante destacar lo que reflexionan sobre esta actividad otros historiadores. A continuación se presentan ideas de Patricia Fara, Stephen Mason y William Dampier.

En *Breve historia de la ciencia*, Fara (2009) menciona precisamente a Kuhn: “su nombre simboliza el punto de vista actual de que la ciencia se desplaza de forma impredecible, sujeta, como otras empresas humanas y, por tanto, falibles, a influencias locales, intereses personales y presiones políticas” (p. 274). Agrega que los grandes descubrimientos implican salir de las barreras, eliminar ideas preconcebidas y desafiar los conocimientos previos, incluso desafiar el saber aceptado.

Fara (2009) retoma lo dicho por el filósofo de la ciencia Karl Popper, señala que los “buenos científicos” buscan poner a prueba sus teorías, mientras que los “pseudocientíficos” sólo intentan confirmarlas; así, “cualquier hipótesis digna de ser llamada científica debe ser susceptible de refutarse”, más aún, “no es posible demostrar que una teoría científica es definitivamente correcta” (p. 449). Advierte, sin embargo, que las mismas observaciones se pueden utilizar para apoyar teorías distintas.

Indica que a partir de la segunda mitad del siglo XX los científicos han aprovechado los medios de comunicación para promocionarse, ya que se dieron cuenta de que para conseguir respaldo financiero, además de demostrar la validez de sus proyectos, también deben demostrar su trascendencia política, comercial o ética, de esta manera “poco a poco aprendieron a manipular a los medios de comunicación y garantizar su financiación mediante rimbombantes anuncios de novedades revolucionarias o de catástrofes inminentes” (Fara, 2009, p. 521). Al respecto comenta que los primeros debates sobre “la gestión del planeta Tierra” los desencadenó la bióloga Rachel Carson con la publicación en 1962 del libro *Primavera silenciosa*, donde planteó el impacto de las sustancias químicas tóxicas y previó la desaparición de las aves por esta razón (Fara, 2009, p. 521).

Con el tiempo, el planteamiento de escenarios negativos creció, ya que los científicos con conciencia medioambiental (ecologistas) averiguaron “que la mejor forma de atraer la atención del público y la financiación de los gobiernos es pronosticar un futuro apocalíptico: devastación nuclear, bombardeo de meteoros, era glacial inminente, calentamiento global” (Fara, 2009, p. 524). Así, los científicos que predicen el futuro “parecen cubrir las mismas necesidades psicológicas que los profetas religiosos que predicaban que el fin del mundo representaba el castigo de Dios a los pecadores” (Fara, 2009, p. 524):

En ese sentido, el calentamiento global es más satisfactorio que la era glacial, pues la culpa puede atribuirse a la raza humana. A diferencia de los desastres naturales, se responsabiliza del efecto invernadero y de la reducción de la capa de ozono a las actividades industriales que impulsan el moderno capitalismo basado en la obtención de beneficios. Según esta retórica, las personas pueden ser las culpables de la destrucción de un mundo del que ellas mismas dependen, pero los científicos les ofrecen la posibilidad de redención mediante las modificaciones de su comportamiento. Al conseguir la cooperación del público para “pensar en verde”, los científicos dejan de ser agentes de la destrucción para convertirse en una especie de salvadores seculares. (Fara, 2009, pp. 524-525).

Apunta Fara (2009) que abundan las predicciones acerca de “las maravillas tecnológicas que nos esperan en el siglo XXI” (p. 535), como los nanotranspondedores, los genes artificiales y las células de combustible, pero, al mismo tiempo, los ecologistas “lanzan dramáticas advertencias, afirmando que la raza humana se extinguirá a causa de la polución que genera a menos que se tomen medidas para impedir un mayor calentamiento global” (p. 535).

Concluye volviendo a la naturaleza de la ciencia:

Igual que las sociedades humanas, el conocimiento nunca es fijo de forma definitiva, sino que cambia constantemente a medida que las categorías antiguas y las nuevas se disuelven y combinan. No existe garantía alguna de que la ciencia punta de hoy no vaya a representar la desprestigiada alquimia del mañana. (Fara, 2009, p. 539).

En *Historia de las ciencias*, publicado originalmente en 1962, Mason señala que si se juzga con una escala temporal larga, las teorías científicas han resultado efímeras, más aún, si continúa el ritmo actual

de la actividad científica, *“difícilmente podremos suponer que cualquiera de las teorías científicas de hoy vaya a permanecer sin modificación por mucho tiempo”* (Mason, 2012, p. 522).

Mason (2012) explica que el método científico es esencialmente un medio de descubrir fenómenos nuevos y de formular nuevas teorías, *“de manera que las ciencias constituyen sistemas de conocimiento en perpetua expansión, ya que las viejas teorías están siendo continuamente derrumbadas por otras nuevas en la medida en que se practique este método”* (p. 527). Las personas “sensibles” a este aspecto de la ciencia tienden a guiarse *“por valores que miran hacia adelante y a sentirse impacientes con las instituciones que se muestran muy inertes”* (p. 527). Ahora bien, precisa —y esto es muy relevante— que en general:

ha sido escasa la influencia del método científico sobre las personas que lo adoptan. En general los científicos han aceptado los valores de la sociedad a la que pertenecían, incluso aquellos casos en los que dichos valores eran perjudiciales para el progreso de la ciencia. (Mason, 2012, pp. 527-528).

Mason (2012) explica, desarrollando esta idea, que la ciencia de una determinada época *“no sólo ha pertenecido a su propia tradición con sus propios métodos, valores y conocimiento acumulado, sino también a su propio periodo histórico, en el que otros movimientos han dejado sentir sobre ella su propio impacto”* (p. 528). De esta manera, en periodos históricos más bien estáticos (como la Edad Media), la ciencia no ha mostrado un desarrollo notable, mientras que durante los periodos expansivos la ciencia ha crecido. Además, dentro de estos periodos se han producido *“modas, dudas y cambios abruptos”* en el desarrollo de la actividad científica *“que no parecen haberse debido a causas internas”* (p. 528):

En general, quizá se puede decir que los problemas prácticos de un periodo histórico dado han ejercido su influjo sobre las investigaciones empíricas emprendidas por los científicos de la época, mientras que los intereses intelectuales de la época han influido sobre la forma en que se expresaron las teorías científicas. (Mason, 2012, p. 529).

Concluye indicando que a lo largo de la historia las teorías científicas se han visto favorecidas o han recibido oposición no sólo por consideraciones basadas en los criterios del método científico, sino *“de acuerdo con el grado en que dichas teorías han sido congruentes o divergentes de las creencias generalmente aceptadas en su tiempo y lugar”* (Mason, 2012, p. 531). Tales ideas y las acciones basadas en ellas han resultado particularmente influyentes en esos periodos históricos *“en los que dos grandes movimientos de fuerza comparable se han opuesto el uno al otro”* (p. 531), como las teorías genéticas en la década de 1950 o las teorías astronómicas en los siglos XVI y XVII. Y ahora, podemos agregar al comenzar el siglo XXI las teorías sobre el cambio climático.

Dampier (2008) en *Historia de la ciencia y sus relaciones con la filosofía y la religión*, publicado originalmente en 1948, también ofrece una rica reflexión sobre la práctica científica. Un aspecto que destaca en diferentes pasajes de la obra es la capacidad de *“autodominio científico para suspender el juicio”* (p. 221), consistente en: *“seguir las dos trayectorias plausibles de un tema, suspendiendo interinamente el juicio sobre sus implicaciones y correlaciones más profundas, mientras no se cuenta con pruebas suficientes para zanjar definitivamente la cuestión”* (p. 224). Esto debe aplicarse cuando no se pueda *“lograr lógicamente una decisión clara entre diversas posibilidades o imposibilidades”* (p. 222), se tengan *“datos inconvenientes”* o *“no se adquieran más conocimientos, comprobados por procedimientos críticos”* (p. 383).

Ahora bien, señala que siempre que ocurre una discrepancia entre las teorías y los experimentos porque se presentan *“conclusiones incompatibles”*

si queremos mantener nuestra fe en la uniformidad de la naturaleza, podemos suponer que hay algún fallo o en los experimentos o en nuestras ideas sobre las causas que entran en juego, y es probable que tenemos ante los ojos una revolución de nuestros conceptos tan interesante como necesaria y que basta abrir los ojos para verla. (Dampier, 2008, p. 427).

Dampier (2008) escribió al final del libro acerca de *“la filosofía científica y sus perspectivas”*, indicando que la misión de la ciencia consiste en *“establecer o descubrir relaciones entre los fenómenos, o más bien, entre los conceptos con que los expresamos”* (p. 490), ya que nuestra mente se inclina a considerar como causa *“cualquiera de las variables que concibe como anteriores”*:

Aquí aparece claramente la ambigüedad de las ideas de causa y efecto; sobre todo cuando interviene el elemento tiempo —cuando uno de los fenómenos relacionados entre sí sucede al otro— es cuando nuestra mente identifica instintivamente el post hoc (después de esto) con el propter hoc (porque). Pero entonces es imposible aislar la auténtica causa de un acontecimiento entre la larga serie de circunstancias antecedentes —necesarias todas para que se produzca el fenómeno—. (Dampier, 2008, p. 490).

Dampier (2008) señala que toda relación comprobada requiere nuevos experimentos y el desarrollo de los conocimientos experimentales *“exige y apunta nuevas relaciones hipotéticas”* (p. 491), es decir, teoría. De esta manera, *“las generalizaciones o leyes establecidas por inducción, aun en el caso en que se acepten universalmente como ciertas, deben considerarse tan sólo como probables”* (p. 494), por lo que el error que suele cometerse en la ciencia, advierte, *“consiste en tomar equivocadamente por realidades concretas las abstracciones necesarias inherentemente a la ciencia”* (p. 510). Estas abstracciones son *“imprescindibles para el análisis”*, sin embargo, implican que se margine y se pase por alto *“el resto de la naturaleza y de la experiencia, de las que se elaboraron las abstracciones”* (p. 510). Abstraer es prescindir, subraya, por eso *“sólo nos dan cuadros incompletos, incluso de la misma ciencia, cuanto más del complejo global de la existencia”* (p. 510).

Concluye:

La forma o el esquema mental con que estamos acostumbrados a representarnos la naturaleza es precisamente la que aceptamos con más facilidad como base de nuevas ideas, las cuales, al ver que encajan en el esquema, las convertimos en “leyes de la naturaleza” —es decir, en leyes subjetivas alumbradas a la luz subjetiva de nuestros conocimientos físicos—. De esta manera, el método epistemológico nos induce a estudiar la naturaleza de las estructuras mentales que hemos aceptado. Podemos predecir a priori ciertas características que debe poseer cualquier conocimiento, precisamente porque está incorporado a nuestra estructura mental, si bien los físicos pueden redescubrir a posteriori esas características. (Dampier, 2008, p. 517).

A partir de aquí, para explicar la actitud de los científicos divulgadores del futuro apocalíptico, se retomará lo que dice Dampier (2008) sobre las *estructuras mentales* con las que nos representamos la naturaleza y son la base de nuevas ideas. De hecho apunta, recordemos, que: *“el método epistemológico nos induce a estudiar la naturaleza de las estructuras mentales”* (p. 517). Mason ya esboza parte de la respuesta al poner atención en cómo los valores de la sociedad y los intereses intelectuales de la época influyen en la forma en que se expresan las teorías científicas.

El psicólogo constructivista Jean Piaget y García (1982) profundizan al respecto empleando el concepto *marco epistémico*. Cabe indicar que *epistémico* significa *“perteneciente o relativo a la episteme”*; *episteme* es el *“conjunto de conocimientos que condicionan las formas de entender e interpretar el mundo en determinadas épocas”* (RAE, 2014). Piaget y García (1982) comenzaron a explorar ideas sobre el origen no científico de la actividad científica en *Psicogénesis e historia de la ciencia*. Ahí señalan que:

“Es un hecho aceptado que la ciencia está en perpetuo devenir y que no puede considerarse ningún sector, por limitado que sea, como definitivamente establecido sobre sus bases y al abrigo de toda modificación ulterior” (p. 14). Añaden que “un conocimiento no podría ser dissociado de su contexto histórico y que, por consiguiente, la historia de una noción provee alguna indicación sobre su significación epistémica” (p. 14), por esto se deben “discernir las etapas”, no la “influencia de un autor sobre otro” (p. 14). Por lo tanto, “el problema central a considerar no es el de la continuidad o las discontinuidades (puesto que ambas intervienen en todo el desarrollo), sino la existencia de las etapas mismas y, sobre todo, el porqué de su sucesión” (p.15).

De esta manera, Piaget y García (1982) precisan que el aparato conceptual y el conjunto de las teorías que constituyen la ciencia aceptada en un momento histórico dado *“son factores que determinan de manera predominante las direcciones de la investigación científica. Estas últimas resultan, en general, de un consenso de la comunidad científica, que en la mayor parte de los casos permanece implícito”* (p. 229). Por lo que algunas líneas de investigación se destacan mientras que otras encuentran poco o ningún apoyo y algunos temas pasan a estar de moda y se desarrollan en detrimento de otros: *“Todo esto ocurre, en general, dentro de un mismo marco epistémico”* (p. 229). Añaden que esto se puede cambiar cuando al profundizar en un tema se llega a descubrimientos que permiten, *“ya sea la adquisición de instrumentos para abordar problemas hasta entonces inaccesibles, o bien la formulación de nuevas preguntas que modifican la perspectiva desde la cual se conduce la investigación”* (p. 229).

Sostienen que un sujeto enfrenta el mundo de la experiencia *“con un arsenal de instrumentos cognoscitivos que le permiten asimilar, y por consiguiente interpretar, los datos que recibe de los objetos circundantes, pero también asimilar la información que le es transmitida por la sociedad en la cual está inmerso”* (Piaget y García, 1982, p. 232). Esta información se refiere a objetos y a situaciones ya interpretadas por dicha sociedad. Así, a partir de la adolescencia,

cuando se han desarrollado las estructuras lógicas fundamentales que habrán de constituir los instrumentos básicos de su desarrollo cognoscitivo posterior, el sujeto dispone ya, además de dichos instrumentos, de una concepción del mundo (Weltanschauung) que condiciona la asimilación ulterior de cualquier experiencia. Esta concepción del mundo actúa a diferentes niveles y diferente manera en cada nivel. (Piaget y García, 1982, p. 232).

La “concepción del mundo” determina el marco epistémico y, por lo tanto, la ciencia:

En cada momento histórico y en cada sociedad, predomina un cierto marco epistémico, producto de paradigmas sociales y epistémicos. Una vez constituido un cierto marco epistémico, resulta indiscernible la contribución que proviene de la componente social o de la componente intrínseca al sistema cognoscitivo. Así constituido, el marco epistémico pasa a actuar como una ideología que condiciona el desarrollo ulterior de la ciencia. Dicha ideología funciona como obstáculo epistemológico que no permite desarrollo alguno fuera del marco conceptual aceptado. (Piaget y García, 1982, p. 234).

Señalan que sólo en los momentos de crisis, de revoluciones científicas, *“hay una ruptura de la ideología científica dominante y se pasa a un estadio diferente con un nuevo marco epistémico”* (Piaget y García, 1982, p. 234).

Concluyen:

Que la atención del sujeto sea dirigida a ciertos objetos (o situaciones) y no a otros; que los objetos, sean situados en ciertos contextos y no en otros; que las acciones sobre los objetos sean dirigidas en cierta forma y no en otras: todo esto está fuertemente influido por el medio social y cultural (o por lo que hemos llamado el paradigma social). Pero todas estas condiciones no modifican los

mecanismos *que necesita esa especie biológica tan particular que es el ser humano para adquirir el conocimiento de dichos objetos, en dichos contextos, con todas las significaciones particulares socialmente determinadas que ya le hayan sido asignadas.* (Piaget y García, 1982, p. 245).

García (2000) profundizó en trabajos posteriores en este tema, señala sobre el marco epistémico que no se trata de comparar aspectos puntuales o temas aislados de historia de la ciencia en países o regiones, ni de contar y comparar el número de descubrimientos: *“la evaluación de tales procesos sólo adquiere pleno sentido en el contexto socio-económico-cultural de cada país o región”* (p. 157). Dichos contextos, indica, fueron definidos por el historiador Joseph Needham como *“los sistemas de pensamiento que sirvieron de matrices para los descubrimientos”* (p. 157). Estos *“sistemas de pensamiento”* corresponden al marco epistémico, los cuales *“rara vez”* son explicitados, permean *“las concepciones de la época en una cultura dada”* (p. 157):

Cambios muy significativos de marco epistémico marcan grandes épocas históricas. No se originan en las teorías que contemplan aspectos particulares de las disciplinas, aunque sí pueden aparecer como una resultante de un cambio profundo en la concepción de las disciplinas [...] (García, 2000, p. 157).

Añade que *“un marco epistémico condiciona las teorizaciones en diversas disciplinas, pero no determina su contenido. Orienta y modula los marcos conceptuales, pero no los especifica”* (García, 2000, p. 157). Esquematiza su análisis de la siguiente manera:

Cabe añadir que García (2000) hace una distinción entre la sociología de la ciencia y la epistemología de la ciencia, retomando el trabajo de Kuhn, apuntando que, a pesar de las críticas y las propias correcciones de este autor, *“su concepto básico de paradigma se ha seguido manteniendo”* (p. 171). Las preocupaciones de Kuhn, subraya, quedan en el campo de la *sociología del conocimiento*, *“son muy pertinentes e importantes para la filosofía de la ciencia [...], pero soslayan el problema epistemológico que nos concierne”* (p. 172):

Marcar la diferencia no implica minimizar el valor del estudio sociológico-político, puesto que este es necesario para el análisis integral de la compleja problemática de la sociogénesis de la ciencia. En el caso de la revolución científica en Occidente fue imprescindible considerar como “unidad de análisis”, en el sentido de Kuhn, a los newtonianos en la Inglaterra del período, incluyendo aspectos institucionales, como el papel que jugaron la Royal Society y la Sociedad Boyle, en la creación del clima intelectual que difundió la obra genial de Newton. Pero el sentido profundo de esa revolución excedió en mucho a las leyes de la Mecánica y a la teoría de los movimientos planetarios, y tuvo sus raíces en un cambio de Weltanschauung que se expresó de manera particular en la introducción de la idea de ley natural y el desarrollo de una filosofía natural. (García, 2000, p. 173).

García (2006) agrega que el marco epistémico en muchas ocasiones *“expresa la jerarquía de valores del investigador. Las categorías sociales bajo las que se formula una pregunta inicial de investigación,*

no constituyen un hecho empírico observable sino una construcción condicionada por el marco epistémico” (p. 35). De aquí resulta, añade, que cuando un investigador sale a realizar “trabajo de campo” y comienza a registrar hechos, “no es, ni puede ser, un observador neutro que toma conciencia de una ‘realidad objetiva’ y registra datos ‘puros’ que luego procesará para llegar a una teoría explicativa de los mismos. Sus registros corresponderán a sus propios esquemas interpretativos” (p. 43). Por lo que la interpretación “hace al ‘hecho’ solidario de un sistema de conceptos (y ‘preconceptos’) que corresponden a la experiencia previa del investigador y a su propia ‘ideología’ (considerando este último término, no en el acostumbrado sentido político, sino como una concepción del mundo)” (p. 77).

Siguiendo a Mason (2012), Dampier (2008) y García (2000; 2006), cabe preguntar: ¿Cuál es el “sistema cultural”, la “ideología”, la “concepción del mundo” que mayor influencia ha tenido en la sociedad, y por lo tanto en la comunidad científica, en las últimas décadas? Fara aporta elementos para dar la respuesta: el ecologismo.

En el siguiente capítulo se demuestra que las visiones apocalípticas relacionadas con el cambio climático no responden a una objetividad científica, sino al marco epistémico generado por esta ideología surgida en los países industrializados en la década de 1960. El apocalipsis climático es una construcción cultural propia de esta época, es una idea de su tiempo, que, como lo señaló Fara (2009) y lo podemos confirmar con Di Trocchio (2013), tiene relación con la obtención de financiamiento, es decir, es un medio para subsistir o mantener cierto estatus. Sin embargo, la catástrofe es necesaria, como asunto económico, pero también existencial, es decir, genera sentido.

Para cerrar este capítulo, se considera conveniente traer las palabras del médico y escritor Robert Youngson (2003), que habla de la condena que la Iglesia católica le impuso al astrónomo Galileo Galilei (prisión perpetua y conminarlo a renegar de sus ideas) por defender la teoría heliocéntrica del también astrónomo Nicolás Copérnico:

¿Dónde está el error en esta historia terrible de destrucción de uno de los hombres más grandes de todos los tiempos? Ninguna persona desinteresada podría negar la clara evidencia a favor de la teoría copernicana. Pero los clérigos no podían ser desinteresados. Sus ideas y principios eran el fundamento de sus propias vidas. Lo mismo se aplicaba en gran medida a los científicos y filósofos aristotélicos. Ambos grupos tenían un sistema de verdades fijo, completo e inalterable, y ambos, por razones distintas, no toleraban a los críticos de su sistema. Estaban prestos a perseguir a cualquiera que pusiera seriamente en cuestión sus sistemas, en especial a los que aportaban pruebas claras que [les] demostraban estar equivocados.

[...] Así pues, el error no tuvo nada que ver con la estupidez; se debió al rechazo a admitir la posibilidad de que un sistema aceptado ampliamente, un sistema que parecía dar cuenta cómodamente de los fenómenos observados, pudiera estar equivocado. (Youngson, 2003, pp. 274-275).

Agrega que:

es tentador pensar que hoy en día hemos progresado más allá del estadio de la aserción dogmática, que estamos del todo mentalmente abiertos y dispuestos a adaptarnos a cualquier idea nueva. Pero no es así. Hasta el presente, la historia de la ciencia es la historia de los rechazos para aceptar ideas fundamentalmente nuevas; es la historia de una adherencia determinada al statu quo; de la invención de explicaciones aceptables, por ridículas que sean, de hechos incómodos; de científicos de legendaria eminencia muriendo en la posesión confirmada de sus creencias antiguas; y de un reajuste doloroso de los jóvenes a los nuevos conceptos. (Youngson, 2003, p. 275).

Bien dice el divulgador de la ciencia Marcelo Cereijido (2008) en *Por qué no tenemos ciencia*, que esta actividad comenzó cuando los buscadores de evidencia escaparon “al poder de las instituciones que imponen normas” (pp. 44-45). La historia de la ciencia, dice citando al biólogo Thomas Huxley, “no es otra

cosa que una larga lucha contra el principio de autoridad". De manera que "no resulta exagerado afirmar que la ciencia no nació a raíz de un repentino brote informativo ni como una eclosión del conocimiento, sino como una aventura de la ética" (Cereijido, 2008, p. 49).

Lo que vemos con el tema del cambio climático puede explicarse dentro del marco de la historia, la sociología y la epistemología de la ciencia. Muchos científicos y académicos desconocen, lamentablemente, esto.

VIII. Patmos

Dice el psicólogo y escritor Michael Shermer (2009) en su libro *Por qué creemos en cosas raras*, que todos estamos incrustados en una visión del mundo, encerrados en un paradigma y refugiados en una cultura y que los prejuicios de la “*atribución intelectual*” (considerar que lo que impulsa nuestras creencias es una decisión racional, mientras que las de los demás se deben a la emoción) y de la “*confirmación*” (tendencia a buscar o interpretar pruebas en favor de ciertas creencias y a hacer caso omiso o reinterpretar pruebas en contra de otras) “*son tan poderosos y generalizados que ninguno de nosotros puede escapar de ellos*”. Incluidos los científicos (Shermer, 2009, pp. 447-448, 451, 467).

A continuación se presenta la visión del mundo (paradigma, cultura, valores, sistema de pensamiento) del ecologismo para explicar su componente apocalíptico.

Si bien iniciativas relacionadas con la protección de la naturaleza o el mejoramiento de las condiciones medioambientales están presentes desde antes de 1962, fecha de la publicación de *Primavera silenciosa* de Carson, suele considerarse la reacción que generó este libro el origen del ecologismo como movimiento social, por lo tanto, de una conciencia ecológica más generalizada y no sólo de unos cuantos, como ocurrió en el siglo XIX con iniciativas conservacionistas.

El crecimiento del movimiento ecologista registra un primer acontecimiento de importancia en la celebración del primer Día de la Tierra el 22 de abril de 1970 en miles de colegios y universidades de Estados Unidos, el cual fue una iniciativa del senador Gaylord Nelson. Cuarenta y cinco años después, es un evento internacional, realizándose en casi todos los países del mundo.

Considero que es incorrecto seguir viendo al ecologismo como un movimiento social. Puede considerarse así en algunos lugares donde su presencia es marginal, pero la realidad es que es política oficial, poder, la mejor muestra de ello es cómo sus objetivos actualmente forman parte de las estructuras de gobierno, incluso de manera internacional, como la CMNUCC. Lo explicó así el sociólogo Ulrich Beck en la década de 1990:

Ya hay una consideración de los derechos supranacionales de intervención y autoridades correspondientes, que están pensados para procurar a los Estados ecológicamente pecadores un sentido común global. Al mismo tiempo, la cuestión ecológica interiorizada, aceptada, también suprime interiormente los límites de la privacidad. Todos están obligados, hoy en día, a seleccionar la basura, a cooperar como un activista menor en la acción de rescate de la Tierra y de la humanidad. Esto produce una responsabilidad total que ya no deja lugar por donde escaparse. (Beck, 1999, p. 126).

Más aún, advirtió:

La moralidad ecológica, el tema del conflicto ecológico, podría lograr lo que la Cristiandad siempre intentó y falló: tragar, devorar y convertir a todos los enemigos y religiones competitivas, que reclaman entre sí esferas de influencia, incluyendo a los no nacidos, a las generaciones futuras [...] De otro modo, no hay —si se piensan hasta el fin las posibilidades morales del tema ecológico—, verdaderamente, no hay salida. (Beck, 1999, p. 127).

La pregunta que entonces planteó Beck ante esto fue: “¿En el camino hacia la ecodemocracia o la ecodictadura?”. Considero que nos encaminamos a lo segundo. Puede anteponerse al ecologismo, como modelo o paradigma dominante, el individualismo consumista, el narcisismo masificado —la libertad del ser humano mediatizada en función de los intereses del mercado—, sin embargo, este consumismo no es indiferente al llamado de una sociedad global sostenible, verde, con baja huella ecológica o libre de carbono. Es decir, de una u otra manera, todos somos ecologistas, por convicción, moda o para evitar una sanción, aunque sólo sea moral.

No se presentará aquí la historia del ecologismo ni sus diversas expresiones y ramificaciones; lo que interesa exponer en este capítulo es su ideología: los valores y creencias que están en la base de este sistema cultural, de esta concepción que ha conformado al mundo en las últimas décadas y por lo tanto, siguiendo a Mason (2012), Dampier (2008) y García (2000; 2006), a la ciencia y uno de sus paradigmas. La intención de esto es explicar el origen de la visión catastrofista (apocalíptica) que forma parte de la divulgación del discurso del calentamiento global causado por el ser humano, ya que es un factor fundamental para influir en la sociedad y así justificar la elaboración de políticas públicas como respuesta. Recordemos una vez más lo dicho por Gore (1993) sobre la necesidad de ya no presentar la crisis en “términos científicos” con el fin de “lograr un apoyo público efectivo para las duras medidas que pronto habremos de tomar” (p. 49).

El politólogo Lester Milbrath realizó un estudio de la base ideológica del ecologismo en los primeros años de la década de 1980 en Alemania, Estados Unidos e Inglaterra. Esto lo llevó a distinguir entre un “paradigma social dominante” y el “nuevo paradigma ecologista”, el cual emergía en esos años (Milbrath, 1984). Se presentan a continuación los “componentes” o creencias básicas del paradigma ecologista:

1. Alta valoración de la naturaleza:
 - a. la naturaleza por sí misma (amor de adoración),
 - b. relación holística entre humanos y la naturaleza,
 - c. protección medioambiental sobre el crecimiento económico;
2. Compasión generalizada hacia:
 - a. otras especies,
 - b. otros pueblos,
 - c. otras generaciones;
3. Planes y acciones cuidadosos para evitar riesgos:
 - a. la ciencia y la tecnología no siempre son buenas,
 - b. detener un mayor desarrollo de la energía nuclear,
 - c. desarrollo y uso de tecnología blanda,
 - d. regulación gubernamental para proteger a la naturaleza y a los humanos;
4. Límites al crecimiento:
 - a. escasez de recursos,
 - b. aumento de las necesidades de una población creciente,
 - c. conservación;

5. *Sociedad completamente nueva:*
 - a. *los humanos dañan seriamente a la naturaleza y a sí mismos,*
 - b. *apertura y participación,*
 - c. *énfasis en bienes públicos,*
 - d. *cooperación,*
 - e. *estilos de vida simples,*
 - f. *énfasis en la satisfacción del trabajo;*
6. *Nueva política:*
 - a. *consultiva y participativa,*
 - b. *énfasis en previsión y planificación,*
 - c. *disposición para utilizar la acción directa,*
 - d. *nueva estructura de partidos sobre un nuevo eje. (Milbrath, 1989, p. 119).*

Como complemento al estudio de Milbrath, se presentan los “valores centrales” del ecologismo identificados por el también politólogo Robert Paehlke:

1. *Una valoración de todas las formas de vida y un enfoque en el que las complejidades de la red ecológica de la vida son políticamente relevantes.*
2. *Un sentido de humildad de la especie humana con respecto a su relación con las otras especies y hacia el sistema global.*
3. *Preocupación por la calidad de vida y la salud humana, incluyendo un énfasis en la importancia de la medicina preventiva, la dieta y el ejercicio para el mantenimiento y mejoramiento de la salud.*
4. *Una perspectiva global en vez de nacionalista o aislacionista.*
5. *Cierta preferencia por la descentralización política y/o poblacional.*
6. *Un horizonte de tiempo ampliado —preocupación sobre el futuro a largo plazo del mundo y su vida—.*
7. *Un sentido de urgencia con relación a la supervivencia de la vida en la Tierra, en el largo y corto plazo.*
8. *La creencia de que las sociedades humanas deberían ser restablecidas con una base técnica y física más sostenible. La crítica de que muchos aspectos de nuestro actual modo de vida son fundamentalmente transitorios.*
9. *Una reacción hacia el desperdicio en vista de la necesidad humana (en formas más extremas esto puede aparecer como ascetismo).*
10. *Un amor a la simplicidad, aunque esto no incluye el rechazo de la tecnología o la “modernidad”.*
11. *Una apreciación estética de los materiales.*
12. *Una medición de la estima, incluyendo la autoestima y el mérito social, en términos de valores no materiales como la habilidad, el arte, el esfuerzo o la integridad.*
13. *Una atracción por la autonomía y la autogestión en los proyectos que se emprenden y, generalmente, una inclinación hacia procesos políticos y estructuras administrativas más democráticos y participativos. (Paehlke, 1989, pp. 144-145).*

Hay personas que siguen estos valores de forma radical, otras no los han adoptado del todo, pero estos valores son un modelo que conforma la sociedad global. ¿Nos permite este marco explicar el sentido catastrofista-apocalíptico del ecologismo? A primera vista, en Milbrath (1989) no lo encontramos, tal vez en Paehlke (1989): “*Un sentido de urgencia con relación a la supervivencia de la vida en la Tierra*”. Hay conciencia del ecocidio, de la destrucción de la naturaleza, pero aun así, no se dibuja claramente el fin del mundo. La “urgencia” es precisamente para evitarlo.

Lo que explica, considero, el sentido apocalíptico profundo del ecologismo es la creación de “una sociedad completamente nueva” (Milbrath, 1989), “la creencia de que las sociedades humanas deberían ser restablecidas” (Paehlke, 1989). La revisión de teorías sobre el apocalipsis nos permitirá entender esto.

Si bien la palabra apocalipsis proviene del griego *Apokálypsis*, que significa “revelación”, las catástrofes, la guerra, el hambre, la enfermedad, la muerte, el Juicio Final que se anuncian en el último libro de la Biblia cristiana, así titulado, le han dado a la palabra su sentido negativo. De esta manera, el *Diccionario de la lengua española* define “apocalipsis” como “Fin del mundo” y “Situación catastrófica, ocasionada por agentes naturales o humanos, que evoca la imagen de destrucción total”.

Indica el teólogo Christopher Rowland (1998) que el propósito del Apocalipsis es revelar lo que está oculto para que los lectores puedan comprender su situación desde la perspectiva divina, busca ofrecer “una comprensión que supere la razón humana, al estar fincada en la revelación directa por medio de la visión o de la audición” (p. 62):

El Apocalipsis ofrece una base para tener esperanza en un mundo en que parecía difícil discernir las vías de Dios. Lo hace revelando la auténtica significación del pasado, el presente y el futuro. Además, el libro del Apocalipsis se describe como profecía. Esto probablemente armonice con la convicción, que parece haber sido muy difundida entre los primeros cristianos, de que había regresado el espíritu de Dios: señal de que había llegado el último día [...]. (Rowland, 1998, p. 62).

El *Apocalipsis de San Juan* fue escrito a finales del siglo I o principios del siglo II por un hombre que se identificó como “Juan”, desterrado en la isla de Patmos (en el mar Egeo) por ser seguidor de Jesucristo. A pesar del título, no existe certidumbre si este Juan fue el autor del cuarto Evangelio y tres Epístolas publicadas en el Nuevo Testamento (segunda parte de la Biblia), se le conoce por esta razón como “Juan de Patmos”.

En *Apocalyptic Discourse in Contemporary Culture* (El discurso apocalíptico en la cultura contemporánea), la lingüista Monica Germanà y el estudioso de la cultura Aris Mousoutzanis indican que uno de los aspectos más distintivos de la comprensión y la representación contemporáneos del apocalipsis es su relación con la modernidad:

Esto no sólo es porque las ficciones y los escenarios apocalípticos articulan ansiedades relacionadas con aspectos y efectos secundarios del proyecto de la modernidad, como la industrialización, el imperialismo, la urbanización o la degradación ambiental. También es porque el concepto mismo de “moderno” trae consigo las semillas del apocalipsis [...] lo moderno necesita lo catastrófico para perpetuarse a sí mismo, si tenemos en mente la explotación de los recursos naturales y la subyugación de los pueblos no occidentales debido a la expansión del proyecto eurocéntrico de la modernidad. Pero la catástrofe también es inherente en el mismo concepto de lo moderno: para que algo sea “nuevo” necesita destruir y reemplazar un estado de cosas existente. (Germanà y Mousoutzanis, 2014, p. 4).

Pero también el “trastorno traído por el apocalipsis”, señalan, sirve al propósito de “exponer y desmantelar simultáneamente ‘estructuras totalizantes’” (Germanà y Mousoutzanis, 2014, p. 11).

Un escritor que trató en su obra los efectos “deshumanizadores” precisamente de la modernidad y la industrialización fue David H. Lawrence (1885-1930). Su último libro fue publicado de manera póstuma un año después de su muerte, su título: *Apocalipsis*; que es un análisis y una reflexión sobre el libro bíblico. Las palabras de Lawrence nos ayudan a explorar el sentido apocalíptico del ecologismo. Seguramente muchos cristianos (en sus diversas manifestaciones) no compartirán las ideas de Lawrence y muchos eco-activistas rechazarán mi planteamiento. Considero que el ecologismo, como una creación de las sociedades occidentales, aunque se retomen ritos de culturas no occidentales e incluso panteístas en la sacralización de la naturaleza, tiene una base cristiana, y su discurso apocalíptico es muestra de esta herencia.

Para Lawrence (2008), el Apocalipsis es “la gran autoridad bíblica” que respalda el grito de los débiles: “que mueran los fuertes y los poderosos, y sean glorificados los pobres. Dado que siempre hay más gente débil que fuerte en el mundo, fue la segunda clase de cristianismo la que triunfó, y la que triunfará” (p. 28). La religión de los fuertes, apunta, “enseñaba la renuncia y el amor”:

Los débiles y seudohumildes suprimirán de la faz de la tierra todo poder, toda gloria y toda riqueza terrenales, y entonces ellos, los verdaderos débiles, reinarán. Habrá un milenio de santos seudohumildes, y horrores para contemplar. Pero esto es lo que hoy en día representa la religión: fuera los fuertes, vida fácil, que triunfe el débil, que gobierne el seudohumilde. Éste es el espíritu de la sociedad actual, en lo religioso y en lo político. (Lawrence, 2008, p. 28).

Según Lawrence (2008), al leer el Apocalipsis de un modo crítico y serio, advierte que revela una doctrina cristiana “profundamente importante, la cual no posee nada del verdadero Cristo, nada del verdadero Evangelio, nada del aliento creativo del cristianismo, y que sin embargo es quizá la doctrina más efectiva de la Biblia” (p. 29), ya que su influencia en “la gente de la segunda categoría a lo largo de la historia del cristianismo ha sido mayor que la de ningún otro libro de la Biblia” (p. 29):

El Apocalipsis de Juan es, por su significado, la obra de una mente de segunda categoría. Atrae con gran intensidad a las mentes de segunda categoría de todas las épocas y países. Por extraño que parezca, siendo ininteligible como es, ha sido sin duda la mayor fuente de inspiración para la gran masa de las mentes cristianas —perteneciendo siempre la gran masa a la segunda categoría— desde el siglo I, y nos damos cuenta, con total horror, que igual ha venido sucediendo hasta nuestros días; ni Jesús, ni Pablo, sino Juan de Patmos. (Lawrence, 2008, pp. 29-30).

Apunta que la doctrina cristiana “del amor” era una evasión: Jesús reinaría “en adelante”. Mientras que el Apocalipsis consiste en la manifestación de la “imperecedera voluntad de poder en el hombre” y la santificación de la misma, así como su triunfo final: “Si has de padecer martirio, y si todo el universo ha de sucumbir en el proceso, aun con todo eso, ¡oh, cristiano!, reinarás como un monarca y con tu pie aplastarás el cuello de los antiguos gobernantes” (Lawrence, 2008, p. 30). Este es para Lawrence el mensaje del Apocalipsis.

Añade que de la misma manera que Jesús tuvo un Judas Iscariote entre sus discípulos, así también hay un Apocalipsis entre el Nuevo Testamento, esto porque “la naturaleza del hombre así lo demanda, y la voluntad siempre hace tal demanda. El cristianismo de Jesús va dirigido tan sólo a una parte de nuestra naturaleza. Hay otra gran parte a la que no se dirige” (Lawrence, 2008, p. 30), y a esa parte, apunta, va destinada el Apocalipsis. Explica Lawrence (2008) que las religiones de renuncia, meditación, conocimiento de uno mismo y moralidad pura, como el budismo, el cristianismo o la filosofía de Platón, existen para los individuos, pero no para individuos completos, ya que separan el otro lado de su naturaleza, el colectivo: “El estrato más bajo de la sociedad nunca es individual, así que aquí deberá buscarse la otra manifestación de la religión” (p. 30). Y esto, indica, lo resuelve Juan de Patmos: el Apocalipsis no está dirigida a los “aristócratas” de espíritu, sirve a los pobres, a “aquellas almas meramente colectivas, terriblemente ‘medianas’, carentes por completo de toda singularidad y unicidad” (p. 31). Así, los pobres, agazapados entre la masa, se servirán a ellos mismos y cuidarán de su propia glorificación personal: son los “Patmoseros”. El Apocalipsis no rinde culto al poder, sostiene Lawrence, “su objetivo es asesinar al poderoso” (p. 32). El débil así, como consecuencia, se hará con el poder.

Apunta que la sociedad consiste “en una masa de individuos débiles que intentan protegerse a sí mismos, temerosos de un posible mal imaginario”. Pero “en virtud de su propio temor, hacen que el mal cobre ser” (Lawrence, 2008, p. 35). Lawrence ve en la primera mitad del Apocalipsis “el espacio y la espectacularidad del mundo pagano”, y en la segunda, “el histerismo personal de aquellos cristianos primitivos” (Lawrence, 2008, p. 44):

con el surgir de las Bestias, se desarrolla un odio místico y sobrenatural contra el mundo, contra todo poder mundano, y contra toda criatura y toda cosa que no se someta al Mesías de un modo total. La segunda parte del Apocalipsis es pura extravagancia y simple lujuria, puesto que la lujuria es la única palabra que puede aplicarse al fin del mundo. El apocalíptico tiene que ver al universo, al cosmos conocido, borrado del mapa, y en su lugar sólo una ciudad celestial y un lago infernal en llamas. (Lawrence, 2008, p. 44).

Así, de acuerdo a Lawrence (2008) se predice *“la total destrucción de Roma: pues lo que en este mundo más complacía a los judíos era profetizar la total ruina de los reinos gentiles”*. Y más Juan de Patmos, que escribió con *“una pasión ardiente y feroz contra aquellos romanos que le habían condenado”* (p. 49). Se escribió el libro *“con vistas a poner las ideas hebreas de un Mesías y una salvación (o destrucción) del mundo entero”* (p. 49). Sostiene que esta es la visión de la eternidad que todo “patmosero” alberga dentro de sí: *“Son incapaces de ser felices en el cielo si no saben que, allá abajo, sus enemigos sufren padecimiento en el infierno”* (p. 78). Y esta visión, piensa, fue una especial aportación del Apocalipsis al mundo, ya que según él antes no existía.

Pero esto no es todo, añade que los primeros cristianos ansiaban el fin del mundo, insistían en que el universo entero había de ser destruido: *“Después de los mil años el universo es aniquilado: tierra, sol, luna, estrellas y mar”* (Lawrence, 2008, p. 117):

Así concluye esta obra gloriosa: sin duda una obra bastante repulsiva. La venganza era ciertamente un deber sagrado para los judíos de Jerusalén: y no es tanto la venganza lo que nos preocupa cuanto la perpetua autoglorificación de santos y mártires, y su profunda insolencia. (Lawrence, 2008, p. 117).

Para Lawrence (2008), el Apocalipsis representa:

Los pies de barro del gran coloso cristiano. Y el coloso se derrumba por la flaqueza de estos mismos pies.

Está Jesús, pero también está Juan de Patmos. Está el amor cristiano, y está la envidia cristiana. La primera “salvaría” al mundo, la otra no se hallará satisfecha hasta haberlo destruido. Son las dos caras de la misma moneda. (p. 118).

Jesús sólo vio al individuo, insiste, y dejó a Juan de Patmos *“la tarea de formular una visión cristiana del estado cristiano”* (Lawrence, 2008, p. 120):

Juan lo hizo en el Apocalipsis. Ello implica la total destrucción del mundo, y la aparición del reino de los santos en una gloria final e incorporal. O entraña la destrucción de todo Poder terrenal, y el gobierno de una oligarquía de mártires (el Milenio). (Lawrence, 2008, p. 120).

El Apocalipsis, concluye, muestra al cristiano en su relación con el Estado, lo que no hacen los evangelios y las epístolas:

Le muestra en demente hostilidad con todos ellos, teniendo, finalmente, que desear la destrucción de todos ellos.

Es el lado oscuro del cristianismo, del individualismo y de la democracia, el lado que al fin el mundo nos muestra. Y se trata, simplemente, de un suicidio. Suicidio individual y en masse. Si el hombre pudiera, sería un suicidio cósmico. Pero el cosmos no está a merced del hombre, y el sol no perecerá para darnos gusto. (Lawrence, 2008, p. 122).

El Apocalipsis, según Lawrence (2008) es el libro *“del frustrado culto al poder”* (p. 88), un libro *“de conjuros”* (p. 120). Es un libro de revancha.

¿No existe en los ecologistas radicales o eco-activistas, particularmente en los divulgadores del discurso del calentamiento global apocalíptico, científicos o no, un deseo de destrucción del enemigo, que en este caso son las *Big Oil*, las grandes compañías petroleras: ExxonMobil, Royal Dutch Shell, British Petroleum, etc.? ¿No viene a ser el capitalismo la nueva Roma?

Se advierte, como confusamente lo escribe Lawrence (2008), “una salvación (o destrucción) del mundo entero”. Y es que los ecologistas radicales hablan de salvar al mundo, pero también desean su destrucción: la “sociedad completamente nueva”, el “restablecimiento de las sociedades” implica comenzar de nuevo. Es el conjuro, equivale a un ritual de purificación. No sólo se tienen que ir las petroleras y carboneras, se necesita una nueva sociedad global. Es la única manera, quizá, de acabar con el capitalismo, de construir una sociedad sostenible, justa, solidaria.

Por eso hay molestia en los ecologistas radicales cuando se les muestra información que contradice la catástrofe climática divulgada por el IPCC (no ha subido la temperatura en lo que va del siglo XXI, no se están derritiendo los polos, no ha aumentado el número de huracanes, hay incoherencias): se aleja el fin añorado de esta mala sociedad global. Hay frustración. Se desea el Apocalipsis. Se necesita. Datos que no anuncien el fin del mundo deben ignorarse. Por esta razón se destaca la obra de Lawrence (2008): su interpretación del *Apocalipsis* nos permite entender la actitud adoptada por ecologistas radicales, algunos de ellos, insisto, científicos doctorados (antes de ser científicos fueron ecologistas radicales).

El estudio de la teoría del apocalipsis permite explicitar las tácticas del catastrofismo climático. El filósofo Christopher Norris (1998) expone la deconstrucción que hizo el filósofo Jacques Derrida sobre la guerra nuclear, tema que causó angustia al mundo entero durante los años de la Guerra Fría (1945-1990), como ahora la causa el calentamiento global.

Lo primero que Norris (1998) señala es que no ocurrió una guerra nuclear: “sólo se puede hablar y escribir acerca de ella” (p. 282). Esto constituye un tema de discurso y, por encima de ello, según Derrida (citado en Norris, 1998), “una utopía, una figura retórica, una fantasía... y hasta una fabulosa especularización” (p. 282):

Y hablar en estos términos no es, diría Derrida, una especie de “irresponsable” juego con las palabras ante la amenaza de una catástrofe final. Antes bien, es un simple reconocimiento de que la “realidad” nuclear está integrada por esos actos de habla, invenciones y escenarios proyectados que constituyen nuestro actual conocimiento del (impensable) hecho futuro. (Norris, 1998, p. 282).

Derrida (citado en Norris, 1998) examinó algunas declaraciones de estrategias militares y correspondientes de la defensa; Norris explica al respecto:

Lo que surge de una lectura debidamente retórica de estos textos es el hecho de que entrañan toda una gama de tácticas imaginarias, amenazas y otros de tales gambitos cuya complejidad llega mucho más allá de la captación de cualquier proceso “racional” de toma de decisiones. (Norris, 1998, p. 282).

Lo que quiere Derrida (citado en Norris, 1998) que consideremos:

es el enorme cambio de equilibrio entre los asuntos de la teoría (en que los conocimientos técnicos son dueños del campo) y lo que es materia de conjetura, fantasía o bluff en que la estrategia se vuelve una especie de ficción extravagante. (Norris, 1998, p. 283).

Señala Norris (1998) que reflexionar sobre el lenguaje de la estrategia nuclear en términos de la dimensión performativa (cómo la palabra transforma la realidad, el hecho se realiza al ser expresado) es ver cuán engañoso resulta depender de una evaluación “realista” y práctica sobre el juego: “Sencillamente, las apariencias del pensamiento racional han cedido ahora ante un estado fabuloso o ficticio de fe en

que la retórica crea sus propios efectos de realidad” (p. 288). Así, concluye, la fuerza performativa “ya no puede ser calculada apelando directamente a normas constativas de lógica, sentido y referencia” (pp. 288-289).

Este *bluff*, bajo esta perspectiva, es lo que tenemos con el discurso del cambio climático apocalíptico: se secará el Amazonas y desaparecerá el monzón, lo que además es irreversible, se evaporarán los océanos... La realidad está en lo dicho.

Se muestra así cómo el origen del catastrofismo climático no está en la ciencia, sino en una visión del mundo, en las palabras e imágenes que la construyen (la Tierra en llamas; osos polares sobre pequeños bloques de hielo que apenas flotan sobre el mar; suelos áridos, fragmentados, sin vegetación, a veces con edificios como fondo; la foto satelital de un gran huracán...).

Considero que es un deseo, un doble deseo: la destrucción del enemigo (las petroleras y carboneras especialmente, pero también todo aquel cuyas acciones dañen a la Tierra) y la fundación de una nueva sociedad poscapitalista, ya que el capitalismo, por su apropiación, uso, derroche, contaminación de todo lo que existe, etc., es el origen del ecocidio. Por eso la contradicción: se quiere *salvar* al mundo, pero *no se celebran* los datos que indican que no se está destruyendo como ha sido y está siendo anunciado, el mundo debe destruirse.

Pero el calentamiento global no es el único culto apocalíptico que surge en la era del ecologismo, la escasez de los recursos esboza otro: el pico del petróleo. El cual se refiere al cenit o punto máximo de producción de este recurso no renovable. ¿No debería el agotamiento del petróleo, parte del origen de la catástrofe climática, ser motivo de júbilo?

En las décadas de 1950 y 1960 el geólogo King Hubbert publicó algunas de las primeras proyecciones sobre la durabilidad del hidrocarburo y la fecha en que se podría registrar el pico de su producción (alrededor del año 2000). Aunque el tema fue considerado por la industria petrolera y algunas oficinas gubernamentales, no tuvo un impacto amplio en el mundo académico y los medios de información. Esto sí se presentó a finales de la década de 1990, destacando el trabajo del geólogo Colin Campbell (conocedor de la obra de Hubbert), quien fundó en el año 2000 la Asociación para el Estudio del Cenit del Petróleo y el Gas. Se estima que dicho cenit o pico se presentará entre los años 2020-2030 (Miller y Sorrell, 2014), antes de 2050 (Smil, 2010a).

Este tema ha provocado reacciones pesimistas, ya que se plantea el fin de la sociedad industrial debido a la alta dependencia que la actual civilización tiene del petróleo, tanto como energético como materia prima para elaborar miles de productos y compuestos, pero también de los otros recursos energéticos no renovables como el gas natural y el carbón. A continuación, se presenta brevemente lo dicho por dos autores como ejemplo de lo que el geógrafo Vaclav Smil denomina un “culto apocalíptico catastrofista” (Smil, 2006).

A finales de la década de 1980, el ingeniero Richard Duncan comenzó a estudiar y a hacer cálculos sobre la expectativa de vida de la civilización industrial, tomando como base la proporción de la producción de energía por persona. Llamó a sus conclusiones la “Teoría de Olduvai”, haciendo referencia a la garganta de Olduvai (u Oldupai), localizada en el norte de Tanzania, uno de los sitios paleoantropológicos más importantes debido a los fósiles allí encontrados, que remontan al origen de la especie humana. Según Duncan (2001), la producción de energía por persona caerá a su nivel de 1930 hacia 2030, lo que implicará, dentro de unos mil años, un regreso a la Edad de Piedra (Campbell, 1997, pp. 106-107; Duncan, 2001).

Con el paso de los años, Duncan no ha cambiado su punto de vista. De hecho, en uno de sus últimos artículos donde expone la teoría, publicado en 2013, retoma lo expresado en un extenso artículo publicado en la revista *Population and Environment* (Duncan, 2001). Así, Duncan (2013) indica que “el colapso estará fuertemente relacionado con una ‘epidemia’ de apagones alrededor del mundo” (p. 44). Como millones de personas residen en edificios altos rodeados de acres y acres de asfalto y concreto, los apagones significarán falta de electricidad, falta de trabajo y falta de alimento: “Las áreas urbanas rápidamente se despoblarán cuando mueran las redes de electricidad. En efecto, las zonas más peligrosas ya están

trazadas” (p. 44). Estas zonas son las grandes conurbaciones, como Londres, París, Bombay, Hong Kong, las que van de Baltimore a Boston, Bruselas a Berlín y Osaka a Tokyo, las cuales son “sitios conflictivos insostenibles” (p. 44).

Al comenzar el siglo XXI, el escritor Richard Heinberg publicó dos libros donde expone asimismo un punto de vista pesimista con relación al futuro de la civilización industrial: *The party’s over* (Se acabó la fiesta) (2003) y *Powerdown* (que se puede traducir como Corriente cortada o Pérdida de energía) (2004). En el primero comienza diciendo que “el descubrimiento y agotamiento de los recursos energéticos fósiles” es una realidad “que está impulsando al terrorismo, la guerra, vaivenes económicos, el cambio climático y más” (Heinberg, 2003, p. 1). Su mensaje central es que

la civilización industrial está basada en el consumo de recursos energéticos que son intrínsecamente limitados en cantidad y que están a punto de convertirse en escasos. Cuando esto ocurra, la competencia por lo que permanezca desencadenará acontecimientos económicos y geopolíticos dramáticos; al final, será imposible, incluso para una sola nación, sostener el industrialismo como lo hemos conocido durante el siglo XX. (Heinberg, 2003, p. 1).

Apunta que después del industrialismo podría presentarse un mundo de bajo consumo, baja población y una menor presión sobre los ecosistemas, “pero el proceso de llegar allí desde aquí no será fácil, incluso si los líderes del mundo adoptan estrategias inteligentes y cooperativas” (Heinberg, 2003, p. 2).

Heinberg (2003) construye su argumento a partir de lo siguiente:

- la completa y total **dependencia** de las sociedades industriales modernas de los recursos energéticos de combustibles fósiles así como la incapacidad de las alternativas para sustituir completamente la concentrada y conveniente fuente de energía que los combustibles fósiles proveen;
- la **vulnerabilidad** de las sociedades industriales a la desorganización económica y política como resultado de aún mayores reducciones en la disponibilidad de recursos energéticos;
- la **inevitabilidad** del agotamiento de los combustibles fósiles;
- la **inmediatez** de un pico en la producción de combustibles fósiles, lo que significa que pronto, con cada año que pase, habrá menos disponibles sin importar cuántas tierras silvestres sean explotadas o cuántos pozos sean perforados. (p. 2).

Sin embargo, considera que “el fin de la civilización industrial no tiene por qué ser el fin del mundo” (Heinberg, 2003, p. 2). Al respecto profundiza en *Powerdown*. Ahora bien, también plantea con más detalle los problemas que nos afectan o afectarán. Heinberg (2004) comienza este libro ofreciendo una definición del concepto que utiliza como título:

Corriente cortada [o Pérdida de energía] \ \ s. 1. la hambruna energética que envolvió a las naciones industriales a principios del siglo XXI. 2. el deliberado proceso de cooperación, contracción y conversión que permitieron a la humanidad sobrevivir . . . (Heinberg, 2004, p. ix).

Cabe destacar, dentro del análisis que estamos haciendo, el uso de las palabras “hambruna” y “sobrevivir”, cuestión retórica que tiene importancia en la construcción del sentido y la realidad.

Heinberg (2004) señala que vivimos un tiempo en el que varias “tormentas” están “colisionando”, entre ellas:

- Agotamiento de recursos: combustibles fósiles, agua dulce, poblaciones de peces en el océano, fosfatos, tierra vegetal.
- Continuo crecimiento poblacional.
- Declinación de la producción de alimentos per cápita.
- Cambio climático global y otros signos de degradación ambiental.
- Inestabilidad política internacional. (Heinberg, 2004, pp. 3-5).

Indica que estos problemas están relacionados entre ellos “*de manera compleja, a menudo reforzándose mutuamente*” (Heinberg, 2004, p. 5). Piensa que constituyen:

el más severo desafío que nuestra especie jamás ha enfrentado. Representan no sólo la probable culminación de la historia humana; en sus actuales y potenciales impactos ambientales, también podrían señalar colectivamente uno de los momentos más trascendentales en todo el tiempo geológico. (Heinberg, 2004, p. 5).

Agrega que esta confluencia de logros y amenazas “*sin precedentes*” es “*abrumadora*” cuando uno la contempla con una perspectiva amplia, “*pero por lo general sólo vemos una parte a la vez, y preferimos no pensar sobre cómo las partes pueden combinarse en un terrible conjunto*” (Heinberg, 2004, p. 5). Así, habla del “*próximo holocausto demográfico*”:

Siempre hemos sabido en teoría que los combustibles fósiles son no renovables y por lo tanto son finitos en cantidad. Ahora aparecen señales de que la tasa de la extracción global de petróleo pudiera alcanzar su pico y comenzará a disminuir dentro de los próximos años como resultado de condiciones geológicas que no pueden ser alteradas por cualquier avance técnico esperado en exploración y recuperación. Es probable que las consecuencias sean calamitosas. (Heinberg, 2004, pp. 9-10).

Da por hecho que hemos sobrepasado la capacidad de carga de la Tierra para los humanos a largo plazo y que hemos extraído hasta tal punto recursos esenciales que “*alguna forma de colapso social es ahora inevitable*” (Heinberg, 2004, p. 10):

Desde una perspectiva temporal suficientemente distante, futuros historiadores probablemente verán el periodo de aproximadamente 1800 a 2000 como la fase de crecimiento de la civilización industrial y el periodo de 2000 a 2100 o 2200 como su contracción o fase de colapso. (Heinberg, 2004, p. 11).

Heinberg (2004) señala que las sociedades industriales tienen cuatro opciones para el futuro a corto y medio plazo. Una de ellas se caracteriza por la competencia por los recursos restantes: en las próximas décadas habrá guerras, crisis económica y catástrofe ambiental; el agotamiento de los recursos y la presión poblacional se pondrán al día con nosotros y nadie está preparado. Otra opción es el optimismo a ultranza, falsas esperanzas y la negación: una transición sin dolor en la que las fuerzas del mercado vendrán al rescate, haciendo innecesaria la intervención gubernamental de la economía. Las otras dos opciones, la construcción de comunidades solidarias y precisamente el *powerdown*, se presentan en otro capítulo. Concluye Heinberg (2004) cuestionándose:

¿Cómo será la vida después de la desaparición de las redes de comunicación (incluyendo la televisión, el radio, los periódicos y las editoriales), el colapso de los sistemas escolares y las bibliotecas —en breve, la desaparición de toda la infraestructura cultural que nos permitió entender nuestro mundo y comunicarnos a través del tiempo y el espacio? (p. 140).

Cabe decir que el pensamiento de Heinberg ha influido fuertemente la opinión de otros estudiosos de los límites de la civilización industrial, se destaca entre ellos al ingeniero y urbanista Ramón Fernández y al químico Luis González, autores de *En la espiral de la energía*, quienes presentan como una de sus tesis principales que “*El colapso del sistema urbano-agro-industrial es inevitable*” (Fernández y González, 2014, p. 25). Apuntan que “*La crisis civilizatoria es un hundimiento general de las estructuras de gobierno, los valores, las infraestructuras, las clases y el metabolismo*” (Fernández y González, 2014, p. 26).

Revisando libros relacionados con el tema, una de las primeras expresiones que se pueden calificar como “catastrofistas” la encontramos en las conclusiones de *Los límites del crecimiento*, recordando que fue publicado en 1972:

Si se mantienen las tendencias actuales de crecimiento de la población mundial, industrialización, contaminación ambiental, producción de alimentos y agotamiento de los recursos, este planeta alcanzará los límites de su crecimiento en el curso de los próximos cien años. El resultado más probable sería un súbito e incontrolable descenso tanto de la población como de la capacidad industrial. (Meadows et al., 1972, p. 40).

Los autores de este estudio deseaban identificar un modelo del sistema mundial que fuera: “1) Sostenible sin un súbito e incontrolable colapso, y 2) Capaz de satisfacer las necesidades materiales básicas de todos sus habitantes” (Meadows et al., 1972, p. 195).

Lo dicho por Duncan (2001; 2013) y Heinberg (2003; 2004) entra en esta lógica, sólo que ellos dan por hecho el colapso. ¿Se equivocan?

Lo que Smil (2006) critica de estas visiones es que están basadas en interpretaciones “que carecen de cualquier entendimiento matizado de la búsqueda humana de energía, desconocen el papel de los precios, ignoran cualquier perspectiva histórica y presuponen el fin de la inventiva y adaptabilidad humana” (p. 22). En defensa de Fernández y González (2014), su libro es una extensa revisión del uso humano de la energía a través del tiempo. Ahora bien, Smil (2006) presenta tres “puntos clave cuyo objetivo es desmantelar los principios de este nuevo culto catastrofista” (p. 22):

Primero, estos predicadores son sólo los últimos episodios de una larga historia de pronósticos errados sobre el pico del petróleo. Segundo, los defensores del pico del petróleo argumentan que en esta ocasión las circunstancias son realmente diferentes y que sus pronósticos no fallarán —pero para creer eso, uno tiene que ignorar una multitud de hechos y posibilidades que ya contradicen sus afirmaciones—. Tercero, y más importante, no hay razón por la cual incluso un temprano pico en la producción mundial de petróleo debiera desencadenar cualquier clase de acontecimientos catastróficos. (Smil, 2006, p. 22).

¿Se equivoca Smil? Se aborda esto en las páginas siguientes, reconociendo el tema del pico del petróleo y los desafíos que implica para las próximas décadas, teniendo en cuenta que dependemos no sólo del hidrocarburo como energético, también como materia prima.

Para cerrar este capítulo, se retoma otro ensayo presentado en *La teoría del apocalipsis y los fines del mundo*, escrito por el sociólogo Krishan Kumar, titulado “El apocalipsis, el milenio y la utopía en la actualidad”. En él encontramos elementos para superar la visión ecologista catastrófica y percibir el mundo con otro paradigma —sin abandonar, por supuesto, los aspectos positivos del ecologismo—.

Kumar (1998) distingue a finales del siglo XX una “imaginación apocalíptica sin esperanza” (p. 241), lo cual considera que es insólito, ya que antes el bien y el mal, el optimismo y el pesimismo, se alimentaban uno del otro.

La imaginación del desastre, la imaginación apocalíptica, por lo general llevaba consigo [...] un sentido de esperanza, de algo constructivo que se levantaría de las ruinas. De manera similar, las esperanzas milenarias o la imaginación utópica generalmente se aunaron a la fe en que un gran desastre [...] debía preceder al comienzo del reinado milenario de la sociedad buena. (Kumar, 1998, p. 240).

Apunta que los discursos del fin de la historia y la posmodernidad (muerte de las grandes narrativas) no dieron un sentido “de una nueva partida” (Kumar, 1998, p.243). Más aún, indica que los científicos

“prometieron que su conocimiento liberaría de la guerra y la escasez al mundo” (Kumar, 1998, p. 245), lo cual no fue (y de hecho son los científicos los que anuncian la escasez). Añade que el quid está en que la utopía capitalista, ligada al individualismo y el consumismo, como ideología *“ya no tiene fuerza necesaria para inspirar esperanzas utópicas”*, ya que si no se le controla *“amenaza los sistemas que mantienen la vida del planeta”*, se podría *“convertir al mundo en un yermo moral y material”* (Kumar, 1998, p. 246). Sin embargo, apunta que:

por el momento no se ofrece ninguna alternativa al capitalismo, en el sentido de nuevos sistemas completos. Pero eso deja al capitalismo simplemente como la sociedad menos mala y no como la mejor o ni siquiera la buena. No puede decirse que éste sea material apropiado para una utopía. (Kumar, 1998, p. 246).

No obstante, identifica a los ecologistas, precisamente, como un grupo que:

ha encontrado que el pensamiento utópico es una herramienta poderosa para alcanzar sus fines. Los ecologistas conciben los problemas del planeta en la más grande escala. Se ven obligados a pensar de manera holística, a ver el mundo como un sistema en que todo está relacionado con todo lo demás. El daño causado al casquete polar se atribuye a los requerimientos de energía del capitalismo industrial; el calentamiento global, a nuestra actual dependencia de combustibles fósiles y productos de consumo duradero. (Kumar, 1998, p. 256).

De hecho, piensa que mostrar un mundo ecológicamente sano y sostenido *“de una manera vívida y convincente”* es un ejercicio utópico (Kumar, 1998, p. 257).

Al momento en que Kumar escribió su ensayo (primera mitad de la década de 1990) consideró, y así era, que la utopía ecológica estaba restringida a un público particular, que el debate se mantenía *“dentro de círculos cerrados; sólo rara vez, como en la época de algún desastre ambiental”* afectaba *“la conciencia general de la sociedad”* (Kumar, 1998, p. 257). Hemos visto que esto, ya en el siglo XXI, ha cambiado: la ideología del ecologismo no forma parte sólo de grupos marginales. El ecologismo es más que un movimiento social: es un proyecto político global —que, como todo, tiene resistencias—. Pero es lo que señala Kumar (1998) sobre el ejercicio “utópico” de mostrar de manera vívida y *convincente* un mundo ecológicamente sano y sostenido el problema que se presenta: ¿es la *ecotopía* convincente?

Tanto Duncan (2001; 2013) como Heinberg (2003; 2004) y Fernández y González (2014) proponen como alternativa a la declinación de la civilización industrial el desarrollo de un mundo “sano y sostenido”: proyectos a escala local, sostenibles, resilientes, impulsados por energías renovables, autosuficientes.

Más allá de amenazas climáticas (las cuales suscriben estos autores), ¿puede el mundo del ideológicamente muerto capitalismo tardío ser *verde*? ¿Son viables estas *ecotopías*? ¿Pueden construirse y sostenerse los asentamientos humanos (rurales, *neourbanos*) esbozados por el nuevo paradigma dominante (ecológico)? ¿Puede ser real y funcional de manera amplia la nueva sociedad ecológica, sea esta “ecologización” como una reacción al capitalismo o como una nueva manifestación de este? ¿El apocalipsis necesario sólo quedará en discurso? ¿Es convincente el paraíso ecológico “libre” de carbono —sin carbón, sin petróleo?

IX. Petróleo

Así como *El genio* (Eisfeld, 1987) nos lleva a reflexionar sobre los riesgos que presenta la geoingeniería, otra obra literaria nos da elementos para comprender los desafíos relacionados con la obtención de energía, particularmente, la producción de petróleo; *Petróleo* es el título de una novela firmada por Jonathan Black (seudónimo de Bela von Block, escritor norteamericano, 1922-1991), publicada en 1974, año que el mundo experimentó los efectos de la primera crisis internacional de energía debido a que el precio del hidrocarburo se cuadruplicó en los últimos meses de 1973, pasando de menos de 3 dólares por barril a más de 11 dólares, consecuencia del recorte de la producción y el embargo que la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) aplicó a Estados Unidos y Países Bajos por su apoyo a Israel durante la guerra de Yom Kippur en octubre de ese año. Lo que trajo esta crisis —inflación, recesión, desempleo— marcó, en palabras del historiador Eric Hobsbawm, el fin de la “*edad de oro*” del capitalismo (Hobsbawm, 1994).

Yan Zabor y la Máquina M. (Eisfeld, 1987) nos introdujeron en la complejidad de los sistemas meteorológicos y por lo tanto del clima; James Northcutt y la Compañía Petrolera Internacional Northcutt (NIPCO) (Black, 1977) nos conducen por los laberintos y retos de esa multimillonaria industria.

A diferencia de Eisfeld, Black no explora el futuro: retrata el pasado y el entonces presente, los primeros años de la década de 1970, del mundo del petróleo. Y así, sin proponérselo, consiguió una imagen del futuro: nuestro presente, las primeras décadas del siglo XXI.

Una nota del editor al final de la novela indica que la idea de preparar esta historia surgió después de la oferta que un “*opulento magnate*” de las finanzas internacionales y del petróleo le hizo a Black (1977) para que escribiera su autobiografía, la cual rechazó; sin embargo, la vida de ese personaje está en el origen de la novela (p. 435). Más aún, el propio autor nos dice en una nota introductoria que tomó los “*hechos históricos como firme base para brindar una imagen verdadera de cómo opera realmente la industria mundial del petróleo*” (p. 7). De esta manera, habla de rivalidades e intrigas internacionales, de tácticas y estrategias utilizadas por las grandes compañías petroleras: “*El petróleo es riqueza y poder. Puede significar paz o guerra. Por encima de todo, el petróleo y los hombres del petróleo son una ley en sí mismos*” (p. 7).

Después de la lectura de *Petróleo* no hay espacio para la ingenuidad —en caso de que no se haya leído antes sobre la historia de esta industria—, pero no sólo sobre las intenciones y el *modus operandi* de las compañías que buscan, extraen, refinan y/o transportan hidrocarburos y/o comercializan sus derivados, sino sobre el mundo de las grandes empresas en general —incluyendo las verdes—.

Además de ofrecer un retrato de las intrigas y odios de la industria de los hidrocarburos, *Petróleo* se escribió y publicó durante la crisis energética que afectó particularmente a las sociedades capitalistas en la década de 1970. Black supo leer el momento, aprovechar la incertidumbre que había en esos países por la crisis económica que el *shock* petrolero trajo consigo. Es una novela de su época, que es la nuestra.

La historia narra la lucha de James Northcutt para mantener viva a toda costa a la NIPCO contra los ataques de las grandes petroleras. Sabotaje, asesinatos, intimidación, manipulación periodística, corrupción, están presentes en sus más de 400 páginas. Hay dos pasajes que es importante destacar, los cuales nos permiten plantear los desafíos que enfrenta esta industria y por lo tanto la sociedad global, ya que nuestro devenir está ligado al de ella:

Para el mundo árabe, esa era una victoria, y los países árabes productores de petróleo embargaron las ventas de crudo a aquellas naciones que según su juicio, estaban dando apoyo material o moral a Israel. El embargo contra los Estados Unidos fue total, con una sola excepción. El emir de Qantara se negó a intervenir en el boicot. La NIPCO siguió produciendo y embarcando el crudo de Qantara.

James Northcutt vio más allá de los efectos inmediatos de la acción tomada por los árabes. Citó a Bonheur a Sam Schlechter, Peter Keeley y Mark Radford para una reunión estratégica.

—Las Mayores van a aprovechar el embargo como pretexto para afirmar que existe una escasez de petróleo —predijo—. Estados Unidos obtiene el once por ciento del crudo de Oriente Medio y Libia. Esa falta parcial podría ser anulada aumentando la producción nacional y las importaciones de Canadá y América Latina, pero no será así.

—No, no lo será —coincidió Peter Keeley—. Harán tragar al público los cuentos apocalípticos que inventan sobre la escasez. Las Mayores van a inflar la caída del once por ciento para convertirla en una crisis total. Quieren precios más altos, reducciones de impuestos y que terminen con las leyes de control ambiental... entre otras cosas. Van a producir una real escasez hasta que consigan lo que quieren.

—¿Cómo quedamos nosotros? —preguntó Mark Radford.

—Espléndidamente —sonrió Northcutt—. Usted empuje al límite la producción de Qantara, Mark. Tendremos una magnífica ventaja con la competencia. Las ventas y los beneficios de la NIPCO subirán a las nubes.

Los hechos que ocurrieron después del otoño de 1973 demostraron que Northcutt estaba en lo cierto y que las estimaciones de Peter Keeley sobre las intenciones y motivos de las Mayores, eran correctas. Uno tras otro, los gobiernos de los países afectados por la escasez de combustible accedieron a las exigencias de las empresas gigantes de la industria petrolera. (Black, 1977, p. 335).

El poder de las grandes compañías petroleras (las “Mayores”) es real; y el poder de los países productores para influir en los precios también, concretamente, la OPEP y dentro de ellos Arabia Saudita. El poder se utiliza para controlar yacimientos, mercados y precios. El control de los precios permite influir en la producción de crudo e indirectamente de otras fuentes de energía. Sin embargo, la “guerra” no es particularmente contra las alternativas al petróleo (evitar su desarrollo), como muchos piensan, sino contra otros productores del aceite. El dramático descenso de los precios durante 2014 y 2015 es un buen ejemplo de ello. La mayor producción de petróleo en Estados Unidos debido a la explotación de yacimientos de esquistos o lutitas —gracias al desarrollo de la tecnología, una regulación laxa y los altos precios registrados previamente— trajo como consecuencia, junto con una menor demanda por la crisis económica en Europa y la desaceleración en China, la caída de los precios del barril. La reacción de la OPEP no fue una reducción en su producción para aumentar dichos precios, lo que provocó una más pronunciada caída. Ahora bien, como los costos de la producción de petróleo de esquistos son altos, se requiere cierto nivel de precios para que la inversión sea rentable, en otras palabras, se necesitan precios altos. La apuesta de la OPEP fue retirar de la competencia a las pequeñas compañías petroleras que se posicionaron los

últimos años explotando esos yacimientos, considerados no convencionales. Lo que lleva a plantear que la escasez de crudo puede sin duda ser un fenómeno artificial, como también lo puede ser la abundancia: se puede subir o bajar la oferta para subir o bajar los precios a voluntad... de los que tienen el control.

Pero así como puede “fabricarse” una escasez artificial subiendo precios, también puede ser real, aunque haya mucho petróleo en el mercado y aún bajo la superficie, para algunos países o sectores sociales y empresariales que no pueden acceder al recurso en sus diferentes formas debido a su elevado costo. Siempre hay ganadores y perdedores.

Cabe destacar esto porque, recordemos, los divulgadores de la teoría del cambio climático catastrófico relacionan a los científicos y analistas que la cuestionan con las grandes empresas petroleras, diciendo que son pagados por estas, que hay una campaña detrás de la “negación” de este hecho “incontrovertible”. Hemos visto que para disminuir la emisión de dióxido de carbono se requiere bajar o de hecho detener la cantidad de carbón y derivados del petróleo que se queman para generar electricidad y calor y poner en movimiento los medios de transporte. Las medidas (impuestos, multas, fin de subsidios) para disminuir la presencia de CO₂ atmosférico y así mitigar el calentamiento global, afectan, por lo tanto, directamente a las compañías petroleras y carboneras, las cuales utilizan todo su poder para que la “lucha” contra el cambio climático les afecte lo menos posible. ¿Pero realmente afecta a las empresas petroleras la política climática?

Lo que más daña al mundo petrolero es su propia dinámica. Si bien los impuestos tienen un impacto, pueden variar. Los costos de producción son fijos: hay un punto en que estos costos están fuera de lo que acepta o puede pagar el mercado o puede invertir la industria. De hecho puede no haber impuestos, pero si cada vez es más y más costoso extraer petróleo, disminuyendo tanto el número de compradores como el porcentaje de ganancia (que también tiene que repartirse entre los accionistas), la actividad no valdrá el riesgo de inversión, lo que tiene que ver con financiamiento y deuda. Los impuestos pueden ser flexibles, negociarse (el innegable, como hemos visto, poder de la industria), los rendimientos decrecientes no. Y el salto tecnológico que significa superar cierto nivel de rendimientos decrecientes no demuestra que las dificultades fueron del todo superadas, se alcanzó otro nivel de complejidad y por lo tanto de gasto: el esfuerzo requerido para evitar el decrecimiento será mayor.

Aquí entra la importancia de los yacimientos de esquistos o lutitas, no desconocidos por James Northcutt:

—Petróleo de arcillas laminares —dijo—. ¿Ustedes se dan cuenta de que hay dos mil billones de barriles de petróleo esperando que se los extraiga de las formaciones de arcillas laminares, en Colorado, en Wyoming y Utah solamente?

Sam y Mark le miraron fijamente, y después se miraron entre ellos.

—Los ingleses están produciendo petróleo de arcillas esquistas desde 1915, o antes —prosiguió Northcutt, como si estuviera dando una conferencia de historia—. Aunque el trust petrolero británico compró los arriendos de las tierras que contenían arcillas laminares, y todas las patentes de procesamiento.

Se frotó la mandíbula.

—Y una cosa muy parecida ocurrió aquí. Las Mayores han estado deteniendo durante décadas el desarrollo de las reservas de petróleo de arcillas laminares. Temiendo que se pudiera producir una caída en los precios del petróleo crudo —sonrió—. Nosotros tenemos cuarenta mil hectáreas arrendadas de tierras que contienen arcillas esquistas, en el Oeste. Estando el precio del crudo corriente a once dólares y más por barril... ¡Cristo! ¡Podríamos extraer petróleo de arcilla laminar y venderlo a unos seis o siete dólares el barril!

Se puso a liar un cigarro. Después que lo hubo encendido, Jim exhaló el humo hacia el techo de la cabina.

—Mark, tome nota mentalmente. Quiero las estimaciones de costo de una planta piloto. El próximo proyecto de la NIPCO será la producción de petróleo de arcillas laminares. (Black, 1977, p. 403).

Los datos que menciona Northcutt no son imprecisos. De hecho a finales de la década de 1970 se desarrollaron en Estados Unidos proyectos experimentales, que fueron cancelados en 1982 debido a la caída de los precios y a que los costos de construcción y operación de las instalaciones de producción fueron más elevados de lo estimado (Hall et al., 1986, p. 225). La ficticia planta de la NIPCO tendría que haber esperado más de 30 años para ver resultados positivos.

Y así como *El genio* (Eisfeld, 1987) nos deja algunas lecciones, *Petróleo* (Black, 1977) aquí nos da una: en el mundo del petróleo no hay sorpresas —y en el de la física (que es el mismo) tampoco—. Desde hace 50 años al menos, gracias al desarrollo de la tecnología, con mayor o menor precisión se tiene una idea de cuánto petróleo se puede extraer de un yacimiento. Siempre, incluso desde los primeros años de esta industria a mediados del siglo XIX, se ha optado por explotar las regiones petroleras con mejores condiciones, esto es, que requieren menor inversión para obtener mejores rendimientos (mayores ganancias) y en el menor tiempo posible. Northcutt lo entendía y sabía cómo hacerlo, a pesar de las Mayores. También era un genio.

Debido al impacto ambiental de la producción de petróleo, las compañías petroleras no son en general bien vistas por la sociedad. El discurso catastrofista del cambio climático las ha convertido en el origen de todos los males. Pero el poder de las petroleras se debe al consumo de un recurso que es vital para el funcionamiento de la sociedad contemporánea: consumimos petróleo porque, a pesar de que contamina, es el mejor recurso energético (de mayor calidad) que ha tenido la humanidad. Por eso hablar del pico de su producción y futura escasez y agotamiento inquieta.

Indudablemente el “fin” del petróleo y el encarecimiento que le antecederá, con subidas y bajadas de los precios como podemos apreciar, traerá dificultades, que serán más o menos dramáticas según la economía, geografía y clima de cada lugar: ¿debemos anunciar por lo tanto el fin de todas las cosas? ¿Tendremos los seres humanos —con petróleo barato y caro, con petróleo y sin él— la capacidad de organizarnos?

Northcutt pudo. Seguramente hubiera aprovechado el *boom* del esquisto y hoy estaría ajustándose a la caída de los precios. ¿En qué otras regiones petroleras hubiera invertido? ¿O hubiera diversificado sus operaciones energéticas concentrándose en otros recursos: energía solar, eólica, biomasa, algún proyecto en el mar? Su sagacidad lo hubiese hecho evaluar sus límites: en el mundo de la energía —que es el de la física... de la entropía— tampoco hay milagros.

X. Rendimientos

No debe subestimarse el asunto del pico del petróleo debido, como se ha indicado, a la importancia del hidrocarburo en la conformación y funcionamiento de la sociedad contemporánea. Indudablemente, la utilización de este recurso tiene un impacto ambiental, que comenzó a ser más discutido a partir del naufragio del superpetrolero Torrey Canyon cerca de la costa suroccidental de Gran Bretaña en marzo de 1967, el cual provocó un derrame que afectó las costas inglesas y francesas. Pero el petróleo, y esto no suele incorporarse en los análisis, también da vida.

Se equivocan Duncan (2001; 2013) y Heinberg (2003; 2004) en sus conclusiones y propuestas para ir más allá del petróleo, lo cual se tratará en otro capítulo. Ahora me concentraré en señalar, retomando algunos pasajes de mi tesis de doctorado (Páez, 2009), por qué es importante discutir, sin una mirada apocalíptica, lo que implica que la producción del hidrocarburo alcance su punto máximo, pero dentro de un marco más amplio, el cual ofrece la energética —“*fundamental y aún difuso*” campo de conocimiento, en palabras de Smil (2008, p. 2) —, y para entender precisamente los desafíos de construir una sociedad pospetróleo que consuma menos energía.

Recordemos que el tema del pico del petróleo comenzó a discutirse ampliamente a finales de la década de 1990, para ser preciso, a partir de la publicación del artículo “The End of Cheap Oil” (El final del petróleo barato) en el número del mes de marzo de 1998 de la revista *Scientific American*, firmado por Campbell y el geofísico Jean Laherrère, quienes indicaron que desde una perspectiva económica no es lo directamente relevante el momento en que el mundo se quedará completamente sin petróleo (en términos geológicos nunca se agotará, ya que no se extrae el 100 % del aceite hallado en los pozos y muchos yacimientos jamás serán explotados debido a la falta de tecnología o al elevado costo), lo que importa es cuando la producción comience a descender, ya que más allá de ese punto los precios aumentarán a menos que la demanda decaiga de forma importante. No plantearon que el petróleo ya se estuviera agotando: “*Lo que nuestra sociedad encarará, y pronto, es el fin del petróleo abundante y barato del que dependen todas las naciones industriales*” (Campbell y Laherrère, 1998, p. 65). Hablan de rendimientos decrecientes y de la necesidad de planificar e invertir para que la transición a una economía pospetróleo no sea traumática. Esto define el problema que debe ocuparnos —no, como espero haber fundamentado, el asunto del calentamiento global antropógeno por la emisión de dióxido de carbono debido a la quema precisamente de petróleo y carbón—.

La cuestión de los rendimientos decrecientes se analizará siguiendo lo dicho por el antropólogo Joseph Tainter, ya que discute esto considerando el colapso y la sostenibilidad de las sociedades complejas,

basándose en una revisión de la teoría económica y tomando a la energía como un factor crítico. Para explorar el tema de la transición a una economía pospetróleo, lo que esto implica de manera amplia, Tainter y Smil nos aportan elementos, junto a otros autores que conforman la energética social, como el ingeniero Douglas Reynolds, el economista Bernard Beaudreau y Charles Hall.

Ahora bien, antes de continuar cabe preguntar si el “pronto” que señalaron Campbell y Laherrère (1998) con relación al fin del petróleo barato ya está aquí. Que se explote o busque explotar yacimientos de lutitas, arenas bituminosas y ubicados en aguas profundas y ultra profundas (más de 500 y 1,500 metros de tirante de agua, respectivamente), conocidos como “no convencionales”, los cuales requieren más inversión para su desarrollo, es muestra de ello. Es petróleo caro, difícil. Por ejemplo, para que la explotación de esquistos en Estados Unidos y las arenas bituminosas en Canadá sean rentables, el barril debe cotizarse a 60 dólares y 80 dólares, respectivamente (Dawson, 2015; Tully, 2015). Como se indicó en el capítulo anterior, la caída de los precios desde finales de 2014 se debe a un exceso de la oferta, impulsada en parte por los altos precios registrados años antes, y a una disminución de la demanda. El piso que marcaron los precios del petróleo Brent (referencia internacional) en la caída de 2015, en su valor promedio mensual, no fue inferior a 38 dólares por barril; el promedio del precio en ese año fue de 53.56 dólares, que marca una diferencia de alrededor de 40 dólares con relación al precio promedio de 1998, 12.76 dólares, año de la publicación del artículo de Campbell y Laherrère y en que se registraron los precios más bajos después del aumento causado por las crisis de la década de 1970.

¿Esa diferencia de 40 dólares ya define al petróleo caro? ¿Cuál es el umbral? Si bien ya se puede hablar de petróleo caro considerando los costos de producción de los yacimientos no convencionales, el incremento del precio afecta de diferente manera, como ya se indicó, a individuos, familias, empresas, gobiernos y países. Para los que tienen ingresos altos, un incremento en el precio de la gasolina, por ejemplo, no les afectará su presupuesto mensual, asunto que será muy diferente para los que viven con presupuestos ajustados, y peor si tienen deudas. Por eso tienen sentido las palabras del antropólogo Marvin Harris:

La verdadera cuestión no reside en cuándo se habrá ido la última gota de petróleo ni en cuándo será explotada la última [tonelada] de carbón. El efecto del agotamiento sobre el nivel de vida se vuelve insoportable mucho antes de que haya desaparecido la última hoja de hierba o el último caballo o el último reno. Cuanto más lejos y a más profundidad busquemos el carbón y el petróleo, más costosas se volverán todas las operaciones industriales. (Harris, 1987, p. 283).

No se trata de decir que el Amazonas desaparecerá, sino que será imposible pagar la hipoteca o la calefacción durante las semanas más frías del invierno o hacer esos pequeños arreglos que la vivienda requiere para que sea más confortable o pagar a tiempo a los proveedores. Si costara más hallar, extraer, refinar y transportar el petróleo y sus derivados, obviamente no es catastrófico plantear años complicados en el proceso de transición: es un asunto económico; crítico, pero no apocalíptico, insisto.

No obstante, desde la publicación de “The End of Cheap Oil” (Campbell y Laherrère, 1998) así como se comenzó a analizar y a discutir en diferentes espacios el tema del “fin del petróleo” y la transición a una sociedad pospetróleo, encontrando antecedentes en la década de 1970 en el arquitecto Yona Friedman (1977) y el historiador y activista Denis Hayes (1977) en respuesta a lo expuesto en *Los límites del crecimiento* (Meadows et al., 1972) y la crisis energética, también se plantearon críticas. En estas no se niega que el pico ocurrirá, para esos autores, la mayoría economistas, dicho pico se presentará más allá de 2030. Por ejemplo, Lynch (2003) indicó que los modelos de Hubbert y sus seguidores carecen de rigor científico, los cálculos que presentan son inexactos. Odell (2000) subestimó la necesidad de discutir la declinación de la producción porque cada vez se demandará una menor cantidad de petróleo gracias al uso de otras tecnologías. Adelman (2004) apuntó que hay suficiente petróleo, el problema de la escasez ha sido y será la OPEP. Para Yergin (2005), estudioso de la energía, la tecnología permitirá aumentar la explotación de hidrocarburos en general y la producción de petróleo no convencional en particular.

Si bien algunos de los puntos criticados ya son considerados por Hubbert (1956, 1962, 1969) desde sus primeros escritos, hay dos grandes diferencias entre ambos grupos, además de la estimación del año del cenit. Una, es la gravedad con la que se trata la evolución de este inevitable fenómeno: ninguno de los críticos analiza cómo podrían afectar a la economía mundial el agotamiento del petróleo convencional y la posterior escasez de toda clase de crudo. La otra, es el enfoque sociopolítico de los “hubbertianos”: su objetivo es influir en la toma de decisiones a nivel gubernamental para gestionar la transición energética oportunamente. Es esto lo que, considero, merece atención.

Para Tainter la energía es lo que define la capacidad social para perdurar, su obra nos aporta elementos para entender las complicaciones que debemos enfrentar y resolver para buscar y lograr la sostenibilidad.

Este autor construyó un marco teórico distinto al discurso del desarrollo sostenible, es decir, no parte desde lo medioambiental en sí mismo, se aproxima al problema de la sostenibilidad desde las ciencias sociales (antropología, arqueología, economía, historia, teoría social) como consecuencia de sus estudios sobre el colapso de las sociedades complejas de la antigüedad (Imperio Romano de Occidente, civilización maya clásica, indios pueblo o anasazi). No habla de contaminación, reciclaje, biodiversidad, capacidad de carga, conservación, huella ecológica, calentamiento global, etc., sino de complejidad política y de subsidios energéticos.

En *The Collapse of Complex Societies* (El colapso de las sociedades complejas), Tainter (1988) indica que las sociedades humanas y las organizaciones políticas, como todos los sistemas vivos, son mantenidas por un flujo continuo de energía, pero los mecanismos mediante los cuales los grupos humanos adquieren y distribuyen recursos básicos son simultáneamente condicionados por e integrados dentro de instituciones sociopolíticas:

El flujo de energía y la organización sociopolítica son lados opuestos de una ecuación. Ninguno puede existir, en un grupo humano, sin el otro, ninguno puede experimentar un cambio sustancial sin alterar tanto al otro miembro de la ecuación como su balance. El flujo de energía y la organización sociopolítica deben evolucionar en armonía. (Tainter, 1988, p. 91).

Señala que en la medida que una sociedad evoluciona hacia una mayor complejidad, los costos de sostenimiento aumentan, por lo que la población como un todo debe destinar cada vez partes más grandes del presupuesto energético para mantener a las instituciones organizacionales, ya que “*los sistemas sociopolíticos requieren energía para mantenerse*” (Tainter, 1988, p. 93). Apunta que la mejor manera que tienen las sociedades humanas para continuar con su crecimiento socioeconómico, evitando la declinación de su producción, es obtener un nuevo subsidio energético cuando sea evidente que la productividad marginal está comenzando a caer (Tainter, 1988, p. 124).

Para explicar por qué las sociedades complejas colapsan presenta cuatro conceptos, siendo los tres primeros las bases del cuarto, que es el elemento crucial de la teoría:

1. *las sociedades humanas son organizaciones que resuelven problemas,*
2. *los sistemas sociopolíticos requieren energía para mantenerse,*
3. *incrementar la complejidad trae consigo el incremento de los costos per cápita,*
4. *invertir en la complejidad sociopolítica como una respuesta para resolver problemas a menudo alcanza un punto de rendimientos marginales decrecientes.* (Tainter, 1988, p. 93).

Explica Tainter (1988) que las sociedades complejas están constituidas por diversos factores interdependientes que forman un sistema, entre ellos destaca la producción agrícola y de recursos, el procesamiento de la información, el control y la especialización sociopolítica y la productividad económica total, todas ellas representan inversiones hechas por las poblaciones humanas para obtener estabilidad y bienestar. Una sociedad que incrementa su complejidad lo hace como un sistema, de tal manera que

si algunas de sus partes son forzadas en una dirección de crecimiento, las otras por consiguiente deben ajustarse, algunas incluso a expensas de las otras: *“Este crecimiento trae consigo un costo energético, que antes del desarrollo de las economías basadas en los combustibles de origen fósil fue cubierto por el trabajo humano”* (Tainter, 1988, pp. 118-119).

Tainter (1988) señala que el crecimiento de los beneficios en relación con los costos (aumento de la complejidad) sigue regularmente una curva que primero asciende y después cae, lo cual indica que *“en un punto en la evolución de una sociedad la inversión continua en complejidad como una estrategia para resolver problemas produce un rendimiento marginal decreciente”* (p. 119), esto se debe a que la curva costo-beneficio crece favorablemente al principio porque *“las soluciones más sencillas, más generales, más accesibles y menos costosas son probadas primero”* (p. 119). Sin embargo, en la medida que estas soluciones se agotan, la presencia de tensiones constantes requiere más inversión en complejidad, *“la evolución ahora procede en una dirección más costosa”* (p. 119). De esta manera, un sistema sociocultural en crecimiento alcanza un punto donde la inversión en más complejidad produce un incremento de los rendimientos, pero a una tasa marginal decreciente: *“Cuando este punto es alcanzado una sociedad compleja entra en la fase donde se vuelve cada vez más vulnerable al colapso”* (p. 120).

Para Tainter (1988), dicho fenómeno no es algo catastrófico, es un proceso fundamentalmente sociopolítico que tiene consecuencias en áreas como la economía y el arte: una sociedad ha colapsado cuando exhibe una rápida (en unas cuantas décadas) y significativa pérdida de un nivel establecido de complejidad y estructura sociopolítica. Así, el colapso se manifiesta en aspectos como: a) menor grado de estratificación y diferenciación social, b) menor especialización económica y ocupacional de individuos, grupos y territorios, c) menor control centralizado, es decir, menor regulación e integración económica y política por algunos grupos (elites), d) menor control del comportamiento, e) menor flujo de información entre los individuos, entre los grupos políticos y económicos, entre el centro y la periferia, f) menor participación, comercio y redistribución de recursos, g) menor coordinación y organización general de individuos y grupos, h) menor inversión en los elementos que definen el concepto de civilización (arquitectura monumental, manifestaciones artísticas, literatura, etc.), i) un territorio más pequeño se integra dentro de una unidad política sencilla (p. 4). Cabe indicar que esta perspectiva es compartida por otros estudiosos de este fenómeno (Diamond, 2005; Yoffee y Cowgill, 1988).

Indica Tainter (1988) que dos factores se combinan para hacer que colapse una sociedad cuya inversión en complejidad comienza a producir rendimientos marginales decrecientes: i) la incapacidad de responder eficazmente ante una calamidad, tensión o perturbación de gran magnitud por la carencia de recursos y/o el debilitamiento de la sociedad, ii) los rendimientos marginales decrecientes hacen que la complejidad sea una estrategia menos atractiva para resolver problemas, por lo que de la interdependencia se pasa a la resistencia, el rompimiento y la independencia (pp. 120-121).

Explica que hay un momento donde los beneficios aún aumentarán en respuesta a la inversión en complejidad, pero a una tasa marginal decreciente. De esta manera se entra a un periodo donde la sociedad experimenta un crecimiento de la insatisfacción y la adversidad ante la caída de los beneficios en proporción al costo. Posteriormente se pasa a una etapa crítica, ya que el aumento de la complejidad (de su financiamiento por lo general a través de impuestos) trae un decrecimiento general de la productividad y de los beneficios, es un periodo de vulnerabilidad extrema, ya que una perturbación mayor afectará seriamente a una sociedad que tiene reservas inadecuadas. Más adelante los costos en complejidad aumentan todavía más, pero los beneficios caen, los cuales se obtuvieron en otro momento con una inversión menor (Tainter, 1988, pp. 122-123).

Precisa que el colapso se presenta cuando hay un vacío de poder, es decir, cuando no existe un competidor u otra sociedad que tome el control político ante la desintegración. Las organizaciones sociopolíticas constantemente se encuentran con problemas que demandan incrementar la inversión solamente para mantener el estatus, esta inversión se presenta como un aumento del tamaño de las burocracias y en algunas ocasiones de su especialización, la acumulación de soluciones organizacionales, el control interno, la defensa y el incremento de los costos para legitimar actividades (Tainter, 1988, p. 195).

Así, resume que en general los rendimientos marginales decrecientes pueden presentarse a partir de alguna de las siguientes condiciones:

- a. *beneficios constantes, costos aumentando,*
- b. *beneficios aumentando, costos aumentando más rápido,*
- c. *beneficios cayendo, costos constantes,*
- d. *beneficios cayendo, costos aumentando.* (Tainter, 1988, p. 205).

Ahora bien, Tainter (1988) señala que el aspecto clave para que las sociedades humanas mantengan su crecimiento socioeconómico y eviten el decrecimiento de su productividad marginal es desarrollar innovaciones técnicas u obtener un nuevo subsidio energético cuando sea evidente que la productividad marginal comienza a descender. Entre las sociedades modernas el nuevo subsidio energético se ha conseguido extrayendo las reservas de los combustibles de origen fósil y con el poder nuclear; entre las sociedades sin el trampolín técnico necesario para alcanzar este desarrollo la tentación común para adquirir ese subsidio energético fue (es) a través de la expansión territorial. Sin embargo, añade, a largo plazo los rendimientos marginales comenzarán a declinar otra vez, por lo que se necesitará más innovación y/o expansión (p. 124). Es decir, otro subsidio energético.

Al analizar en la parte final del libro la situación de las sociedades industriales contemporáneas, Tainter (1988) apunta que patrones de rendimientos marginales decrecientes se observan en algunas áreas, entre ellas: la agricultura, la educación, la investigación y el desarrollo, la salud, la administración gubernamental, militar e industrial y la producción de minerales y energía (p. 211). Considera que en nuestro periodo histórico el colapso “no es ni una opción ni una amenaza inmediata” (p. 213), ya que una nación vulnerable al colapso tendrá que seguir alguna de las siguientes opciones: i) ser absorbida por un país vecino o un Estado más grande, ii) recibir el apoyo económico de un poder dominante o de una agencia financiera internacional, iii) el pago por parte de la población, sin importar los costos que sean necesarios, para continuar con la complejidad aunque caigan los rendimientos marginales (p. 213).

Debe indicarse que sólo tres años después de la publicación de *The Collapse of Complex Societies* (1988) ocurrió la disolución de la URSS (1991), Tainter se equivocó al decir que el colapso (la desintegración sociopolítica) no era una opción en nuestro tiempo, pero sus observaciones sobre este fenómeno no resultaron erróneas: los problemas económicos y las tensiones políticas no pudieron superarse tomando decisiones desde el centro (Moscú), las repúblicas federadas proclamaron su independencia. Ahora bien, algunos años antes de que ocurriera el colapso soviético, el politólogo Ole Holsti señaló la incapacidad de su sistema agrícola para producir excedentes, era necesario periódicamente importar grandes cantidades de granos (Holsti, 1983). El economista Yves Berthelot indicó que el declive económico del socialismo soviético data de la década de 1960, ya que a pesar de la significativa aceleración de las inversiones realizada durante esos años, la productividad del trabajo y del capital mantuvo una tendencia descendente en la década de 1970, los préstamos obtenidos de los países capitalistas permitieron importar bienes de capital y de consumo, pero los primeros no contribuyeron a aumentar la productividad y los segundos retrasaron la caída del consumo interno hasta que la carga de la deuda se hizo insostenible al tornarse positivas las tasas de interés al comenzar la década de 1980; las exportaciones se hicieron cada vez menos competitivas y los desequilibrios estructurales crónicos y los problemas de inestabilidad macroeconómica agravaron el deterioro del sistema (Berthelot, 1998).

Otro problema que enfrentaron, explica el economista Roberto Centeno, fue la necesidad de destinar más recursos para obtener energía (petróleo, gas, electricidad) desarrollando proyectos más costosos en zonas remotas y con un clima particularmente hostil en Siberia y el Ártico; más aún, para evitar el elevado gasto en transporte se comenzaron a construir en Siberia nuevos complejos industriales (petroquímicas y centros metalúrgicos) cerca de los campos de gas y de los recursos hidroeléctricos (Centeno, 1982). Este autor apuntó que durante la década de 1990 “la Unión Soviética tendrá que hacer frente al dilema de distribuir recursos escasos, en un momento en que el crecimiento económico disminuye” (Centeno, 1982, p. 338). La única solución que visualizó fue la disminución de los bienes de consumo, no el colapso.

Lo que está en discusión ahora no es el colapso de un país, sino de un modelo de civilización. Aumentar impuestos, expandir los ejércitos, devaluar las monedas, presionar a los agricultores para que produzcan más, fueron medidas “racionales”, pero que debilitaron más a los gobiernos que las implementaron (la Roma imperial, los mayas de la etapa clásica), nos dice Tainter.

A mediados de la década de 1990, este autor comenzó a analizar la sostenibilidad de las sociedades contemporáneas empleando el marco teórico que construyó para explicar el colapso de las sociedades complejas del pasado. Se presenta a continuación un resumen de sus conceptos.

Señala que el conocimiento histórico es esencial para la sostenibilidad: para diseñar políticas para el presente y el futuro necesitamos entender los procesos sociales y económicos en todas sus escalas temporales y comprender qué patrón histórico hemos asumido (recordar que el origen de nuestros problemas está en el pasado). El hecho de que los sistemas que resuelven problemas parecen evolucionar a una mayor complejidad, costos más altos y rendimientos decrecientes, tiene implicaciones significativas para la sostenibilidad, ya que con el tiempo los sistemas que se desarrollan de esta manera, o carecen en algún momento de más recursos financieros, fallan en resolver los problemas y colapsan, o llegan a requerir y obtener un mayor subsidio energético. Este patrón histórico sugiere que una de las características de una sociedad sostenible es que tiene un sistema sostenible para resolver los problemas, un sistema con rendimientos crecientes o estables, o incluso decrecientes, pero que pueden ser financiados con subsidios energéticos cuyo suministro, costo y calidad son asegurados (Tainter, 1996).

Explica que las instituciones de forma inherente atraen desafíos, enfrentan problemas tanto de estructura interna y costo como amenazas externas. Los tomadores de decisión, con un entendimiento inadecuado, deben idear soluciones cuyas consecuencias se ramificarán de manera impredecible. Para solucionar los problemas primero se buscan, respondiendo a una correcta racionalidad económica, prácticas, relaciones e instituciones que permitan ahorrar trabajo y energía, pero cuando los problemas demandan nuevas instituciones o maneras de resolverlos, se experimenta un incremento de la complejidad de las prácticas, las relaciones y la organización de las instituciones que al principio tendrá rendimientos positivos, pero posteriormente será afectada por el incremento de los costos y mostrará un patrón de rendimientos decrecientes, esto es lo que hace insostenible a una sociedad. El problema con el aumento de la complejidad, explica, es que su adopción aparece como una respuesta racional que se puede asumir en términos económicos, sin embargo, se olvida que esa inversión se hizo para solucionar un problema a corto plazo. Aquí, según Tainter, está la clave para entender el desarrollo de una complejidad que será insoportable: crece a pasos pequeños, cada uno necesario, cada uno es una solución razonable a un problema. Otras dificultades relacionadas con el proceso del incremento de la complejidad son, por una parte, que es un estímulo poderoso para el cambio social y económico, y por otra, que las instituciones que generan o aceleran el proceso desarrollan mecanismos para garantizar su continuidad (Tainter, 2000).

Así, la sostenibilidad consiste para Tainter en: *“Mantener, o fomentar el desarrollo de, contextos sistémicos que produzcan los bienes, servicios y amenidades que la gente necesita o valora, a un costo aceptable, por el tiempo que sean requeridos o valorados”* (Allen, Tainter y Hoekstra, 2003, p. 26).

Tainter no ignora que los aspectos biogeofísicos de la sostenibilidad son fundamentales, ya que sin un sistema material capaz de funcionar por un tiempo prolongado no hay nada que sostener. En el centro de esta perspectiva está el contexto, no los productos. No obstante, apunta que la sostenibilidad social no sólo depende de la sostenibilidad ecológica, sino, y en gran medida, de lo que sucede dentro y entre las sociedades. El aspecto clave es que las instituciones que resuelven problemas no demanden un gasto demasiado alto, en este sentido destaca la *resiliencia*, *“capacidad del sistema para ajustar su configuración y función bajo un trastorno”* (Allen et al., 2003, p. 26).

Esta noción fue introducida por el ecólogo Crawford Holling en 1973 a partir de estudios que hizo precisamente en este campo (Holling, 1973). Con los también ecólogos Brian Walker, Stephen Carpenter y Ann Kinzig la definió posteriormente como *“la capacidad de un sistema para absorber perturbaciones y reorganizarse, mientras experimenta la alteración, para retener esencialmente la misma función, estructura, identidad y retroalimentaciones”* (Walker, Holling, Carpenter y Kinzig, 2004).

Así, señala Tainter, el Imperio Bizantino ofrece un buen ejemplo de resiliencia social, su estrategia consistió en un cambio de administración, forma de gobierno, distribución de la tierra y sistema de defensa que disminuyó considerablemente los costos de transformación y transacción. La base de este éxito fue otorgar tierras al ejército, los soldados se volvieron campesinos, de esta manera se modificó dramáticamente la producción, la distribución, el consumo, la recaudación y los gastos relacionados con estas actividades (Allen et al., 2003, pp. 132-135).

En el artículo "Social Complexity and Sustainability" (Complejidad social y sostenibilidad), Tainter (2006) ofrece una síntesis del trabajo que realizó por casi dos décadas, exponiendo algunas lecciones para la sostenibilidad de los sistemas humanos:

- *La sostenibilidad es una condición activa de resolver problemas, no una consecuencia pasiva de consumir menos.*
- *La complejidad es una herramienta fundamental para resolver problemas, incluyendo los problemas de la sostenibilidad.*
- *La complejidad en la resolución de problemas es una función económica, y puede alcanzar rendimientos decrecientes y llegar a ser ineficaz.*
- *La complejidad en la resolución de problemas hace su daño sutil, impredecible y acumulativamente a lo largo del tiempo.*
- *La sostenibilidad requerirá un mayor consumo de recursos en vez de menos. Se debe tener la capacidad de ser sostenible.*
- *Los miembros de una institución recurrirán a la simplificación como una estrategia de continuidad y sostenibilidad sólo cuando la opción del aumento de la complejidad (a través de mayores subsidios) es excluida.*
- *Una sociedad o institución puede ser destruida por el costo de sostenerse a sí misma. (p. 99).*

Y distingue siete estrategias para hacer frente a la complejidad, las cuales no son mutuamente excluyentes. Las tres primeras, dice, sólo tienen efectos a corto plazo, ya que afectarán la sostenibilidad con el paso del tiempo, mientras que las cuatro restantes podrían favorecer la sostenibilidad en el largo plazo (entre paréntesis, algunas anotaciones que hace al respecto):

1. *No solucionar el problema (esto permite ahorrar dinero).*
2. *Aceptar y pagar el costo de la complejidad (los gobiernos aumentan impuestos, las empresas incrementan los precios; el problema puede ser la rebelión de los contribuyentes y los consumidores).*
3. *Trasladar o diferir costos (esto se hace a través de déficits presupuestarios, devaluaciones de moneda o externalizando costos).*
4. *Estar enterado (conocer lo que causa la complejidad, cómo se desarrolla y sus consecuencias: los costos acumulados son los que traen los problemas más grandes).*
5. *Encontrar subsidios para pagar costos (se habla obviamente de subsidios energéticos).*
6. *Conectar costos y beneficios (la idea es que se limite la complejidad a través del control de los costos que genera; la información sobre estos costos debe fluir en las organizaciones precisa y efectivamente, horizontal y verticalmente).*
7. *Reajustar o revolucionar la actividad (desarrollar nuevos tipos de complejidad que bajen los costos a través de elementos que se refuercen entre sí y que amplifiquen los beneficios y produzcan crecimiento; el sistema de esta manera se vuelve más complejo, pero la complejidad involucra nuevos elementos, conexiones y subsidios que producen rendimientos crecientes; el fin de esto es hacer las actividades de manera más eficiente y ahorrar evitando gastos). (Tainter, 2006, pp. 99-100).*

Concluye Tainter (2006) que todas las soluciones al problema de la complejidad son temporales. La evolución de la complejidad y sus consecuencias para la sostenibilidad “*presentan un continuo y variante espectro de oportunidades y costos*”, no hay “*un nivel óptimo de complejidad, una meseta para ser mantenida a través de su seguimiento*” (p. 100). La sostenibilidad es un proceso continuo de reinención, no un estado.

Entre la sostenibilidad obtenida gracias a nuevos subsidios energéticos y el colapso, Tainter destaca la simplificación que pueden desarrollar los sistemas sociales como una forma de resiliencia, estrategia que también permite a un sistema social perdurar, pero con otras características y a un nivel más modesto que el experimentado antes del ajuste (Allen et al., 2003; Tainter, 2000). Considera que las circunstancias económicas durante la transición no serán tan favorables (Tainter, Allen y Hoekstra, 2006).

Ahora bien, Walker et al. (2004) indican que la resiliencia es uno de los tres atributos interrelacionados de los sistemas ecológicos y sociales que determinan sus trayectorias futuras, los otros dos son la *adaptabilidad* y la *transformabilidad* (en inglés *transformability*). La adaptabilidad es la capacidad colectiva de los actores del sistema para influir en la resiliencia, en el caso de los sistemas sociales esencialmente para manejarla. La transformabilidad es la capacidad para crear un sistema fundamentalmente nuevo, incorporando o sustituyendo variables y/o cambiando su escala, cuando las estructuras ecológicas, económicas o sociales hacen al sistema existente insostenible.

Nos dicen que las implicaciones de esta interpretación de la dinámica de los sistemas sociales conlleva a un cambio de enfoque: de la búsqueda de estados óptimos y de los determinantes de una producción máxima sostenible, al análisis de la resiliencia y un manejo flexible de recursos y formas de gobierno que permitan la adaptación. Esto consistiría en un proceso de creación de la adaptabilidad y la transformabilidad a través de la conservación de recursos ecológicos críticos y del cambio de las reglas que influyen en la resiliencia del sistema durante la auto-organización social (Walker et al., 2004).

La noción de sostenibilidad que plantea Tainter no es medioambiental, sino energética: la capacidad de reproducción de las sociedades está en función de la capacidad de sus organizaciones sociopolíticas para resolver los problemas que se les presenten, organizaciones que dependen de un suministro confiable de energía. Entre esos problemas están los ambientales. El manejo del contexto biogeofísico será determinado, como todas las actividades humanas, por la capacidad energética.

La teoría de la sostenibilidad de Tainter se fundamenta en una ley económica (rendimientos decrecientes). Si bien la economía ecológica es la que analiza específicamente el problema de la sostenibilidad, inspirada en los planteamientos del economista Nicholas Georgescu-Roegen (1996), se presentan a continuación algunos conceptos expresados por Beaudreau (1998), quien hace una crítica a la teoría económica en general (tanto a la escuela liberal como a la marxista) por no dar a la energía la importancia que merece. Si bien la economía ecológica habla de flujos energéticos y entropía, se ha construido prestando más atención al impacto ambiental y a la manera como se deben incorporar a las cuentas nacionales tanto la degradación del medio como el uso y agotamiento de los recursos naturales. Sin duda esto es un tema no resuelto, sin embargo, no es lo que interesa tratar en estas páginas.

Beaudreau desarrolló su teoría económico-energética en *Energy and Organization* (Energía y organización) (1998). Una primera noción que expone es que “*las rentas de la energía aumentan cuando el ingreso del producto marginal (esto es, valor del trabajo) de la energía excede su costo marginal (esto es, precio)*” (p. 5); en otras palabras: “*el precio de la energía disminuirá las rentas de la energía y, consecuentemente, las rentas de la energía apropiadas por el capital y el trabajo*” (p. 5).

Siguiendo esto, hace notar la importancia de la electricidad en las últimas décadas. Beaudreau (1998) señala que el agua y el viento definieron la civilización en la Edad Media y el Renacimiento, el vapor hizo grande al Reino Unido y la electricidad convirtió a los Estados Unidos en “*el poder industrial dominante que es hoy*” (p. 48). Así, enfatiza que si las democracias occidentales “*esperan regresar a las consistentes altas tasas de crecimiento que caracterizaron el periodo anterior a la crisis del petróleo*” de la década de 1970, el crecimiento del consumo energético “*definitivamente tiene que aumentar. Tienen que encontrarse fuentes de combustible nuevas, baratas, más eficientes (esto es, alto contenido exergético [energía productiva]) y menos contaminantes*” (p. 107):

La energía, representada aquí por el poder eléctrico, es, por mucho, el más importante factor de suministro en el proceso productivo. Sin importar el país, sin importar el sector y sin importar el periodo de tiempo, la energía constituye la piedra angular de la producción. (Beaudreau, 1998, p. 107).

Explica Beaudreau (1998) que la intensificación energética en la forma de un incremento de la electrificación de la producción en Estados Unidos de 1929 a 1973, resultó *“en rentas significativas que fueron apropiadas por el trabajo y el capital”* (p. 132). A lo largo de las décadas de 1950, 1960 y 1970, el continuo e ininterrumpido crecimiento del consumo de energía eléctrica hizo que el crecimiento de los salarios y las ganancias fuera un derecho virtual. Sin embargo,

todo esto concluyó en un final abrupto con las dos crisis energéticas de la década de 1970. La intensificación energética tuvo un alto repentino, como lo tuvo el crecimiento de la producción y el crecimiento en general. El problema, sin embargo, fue que las expectativas no. No sólo las rentas fallaron en incrementarse, sino que comenzaron a decrecer. Más altos precios de energía significan más bajos salarios y ganancias. La tarta tiene que encogerse, es decir, lo que quedaba para repartir al capital y el trabajo, una vez que los dueños de la energía han tomado su parte (es decir, la más grande) se ha contraído. (Beaudreau, 1998, p. 132).

Cabe destacar la pregunta que plantea al final de su estudio: *“¿Podrán el capital y el trabajo hacer exitosamente la transición a un más bajo estado estacionario con un crecimiento pequeño o nulo, después de haber experimentado un crecimiento como ningún otro país y ningún otro tiempo?”* (Beaudreau, 1998, p. 132). Debe decirse que este problema no lo plantea el ecologismo, que busca el estado estacionario para disminuir el impacto ambiental y el consumo.

Así, la tesis principal de Beaudreau (1998) es que *“la energía fue y continúa siendo el principal insumo en todo el proceso productivo”* (p. 140). No es, apunta, ni el capital ni el trabajo.

Al analizar el periodo posterior a la crisis energética de la década de 1970, indica que puede describirse como uno en el que:

1. cesó la intensificación energética como lo hicieron las rentas basadas en esa intensificación,
2. aumentó el precio de la energía, reduciendo el ingreso disponible para el capital y el trabajo,
3. nuevas tecnologías de control reemplazaron a los supervisores de bajo nivel y las firmas intensivas en trabajo se movieron costa afuera,
4. los salarios reales dejaron de crecer. (Beaudreau, 1998, p. 145).

Añade que el rompimiento de las barreras al comercio y la resultante internacionalización de las economías industrializadas occidentales (procesos productivos, manufactura) se encuentran entre los cambios definitorios de la segunda mitad del siglo XX (Beaudreau, 1998, pp. 145-146). Que por extensión, podemos agregar, conforman las primeras décadas del siglo XXI.

Otro aspecto importante en la dinámica económica, dice Beaudreau (1998), *“sin importar la tasa de crecimiento del consumo energético”*, es la automatización: *“una cosa parece segura, que el trabajo asumirá un lugar cada vez más pequeño en el proceso productivo”* (p. 162):

La automatización está en proceso de completar lo que la máquina de vapor comenzó a finales del siglo XIX: la prestación del trabajo como algo completamente redundante. Lo primero en irse fue la energía animada humana. Ahora, la supervisión humana animada está dando lugar rápidamente a la supervisión inanimada. (Beaudreau, 1998, p. 162).

Beaudreau (1998) advierte que un incremento múltiple en los precios de la energía, al reducir la tasa de crecimiento del consumo de energía, *“llevará a un descenso en la tasa de crecimiento de la pro-*

ducción” (p. 178), que fue precisamente el caso de la crisis de la década de 1970, “resultando en el final de la intensificación energética y, como consecuencia, en el del crecimiento de la productividad” (p. 178). Esto debe tenerse en cuenta al pensar en el futuro; no sólo es, como veremos, el paso de un recurso energético (hidrocarburos) a otros (renovables). Hasta aquí el resumen de Beaudreau.

La revisión de autores para analizar a la sociedad bajo una perspectiva energética puede ser amplia, entre ellos: Herbert Spencer, Wilhelm Ostwald, Frederick Soddy, Patrick Geddes, Howard Scott, Leslie White, Frederick Cottrell, Nicholas Georgescu-Roegen, Howard Odum, Eduardo Césarman, Richard Adams, Earl Cook, Gerald Foley, Malcolm Slessor, Luis Fernández-Galiano, Charles Hall, Joan Martínez-Alier, Fred Spier.

Para concluir este capítulo se citan las palabras de White y Adams, antropólogos. El primero nos dice: “Los sistemas culturales no son desarrollados por la inteligencia, los altos ideales y el esfuerzo serio por sí mismos, como la fe se supone que mueve montañas; deben tener energía —como, sospechamos, el movimiento de las montañas también debe tener” (White, 1959, p. 43). No es la intención pregonar un determinismo energético, sino subrayar que las ideas que carezcan de suficiente energía para materializarse quedarán en eso, incluyendo las ecotopías.

Lo dicho por Adams permite redondear esta idea:

El hecho de conocer la cantidad de energía disponible no proporciona automáticamente una buena herramienta predictiva para describir cómo va a utilizarse, pero sí es un indicador muy importante de cuáles pueden ser los límites de la actividad [...] De este modo, la energía proporciona las bases para la explicación de la selección siempre y cuando se conozca el costo energético de la actividad en cuestión. (Adams, 1999, p. 152).

Dentro de los diversos aspectos que plantea Tainter es necesario destacar el asunto del subsidio energético: la sociedad industrial podrá sostenerse si encuentra algo que sustituya al petróleo. Es esto lo que se pone en duda. Lo que nos lleva a revisar los recursos energéticos, su presente y futuro. Así, reconociendo que el descubrimiento y uso económico de nuevos combustibles y tecnologías de transmisión marcaron el comienzo de nuevas eras de civilización material, Beaudreau (1998) considera que una nueva revolución industrial dependerá del aprovechamiento de la energía de fusión nuclear (p. 161). ¿Es esto posible o vamos a un inevitable *powerdown*?

XI. Energéticos

Los recursos energéticos (o fuentes de energía) se clasifican en no renovables y renovables. Los no renovables son el petróleo, el gas natural y el carbón. Dentro del petróleo se considera el convencional y el no convencional, lo cual está en función de su capacidad de explotación, por la tecnología y el costo; así, recursos petroleros no convencionales son los esquistos o lutitas, las arenas bituminosas, el aceite ultra pesado (más denso) o el localizado en aguas profundas. Otra fuente de energía es la nuclear o atómica, para ser precisos, la energía nuclear de fisión, la cual consiste en la división del núcleo de un átomo pesado, lo cual libera energía, siendo el elemento base el uranio. Una alternativa teórica es la energía nuclear de fusión, en donde se unen a temperatura muy elevada varios núcleos de átomos ligeros (hidrógeno) formando núcleos más pesados y desprendiendo una gran cantidad de energía, sin embargo, en la segunda década del siglo XXI sigue estando en etapa experimental. La “nueva” revolución industrial de Beaudreau (1998) está lejos de cumplirse.

Los recursos renovables son la energía solar, la energía eólica (poder del viento), la energía hidráulica (movimiento rápido del agua), la energía geotérmica (calor de la Tierra), la bioenergía (obtenida de biomasa: leña, plantas, residuos, desechos), la energía undimotriz u olamotriz (movimiento de las olas), la energía maremotriz (mareas), la energía térmica oceánica (diferencia térmica de los mares con relación a su profundidad en aguas muy cálidas).

Se considera como una alternativa el hidrógeno, pero este elemento no es un recurso energético en sí mismo ya que se requiere energía para obtenerlo del gas natural, petróleo, carbón o agua; no obstante, se señala como una opción, empleándolo en pilas o celdas de combustible.

Cabe añadir que los recursos energéticos renovables han recibido y reciben diferentes denominaciones. A mediados del siglo XX se les conocía como fuentes o energías “nuevas” o “continuas”; ya en la década de 1970 se les llamaba “renovables”, “alternativas”, “blandas” o “limpias”, esto último porque la mayoría no contamina la atmósfera al producir electricidad; actualmente es común también referirse a ellos como “sostenibles” o “verdes”. Ahora bien, a partir de que tomó fuerza al comenzar el siglo XXI el discurso del calentamiento global causado por el ser humano, suele usarse con frecuencia el término “limpias”, relacionándolo erróneamente con la no emisión de dióxido de carbono, pero el CO₂ no es un gas “sucio” y no es un factor de riesgo para desencadenar un cambio climático catastrófico (su aportación en el calentamiento del planeta está regulado, como vimos, por el vapor de agua, la saturación espectroscópica del propio CO₂ y las nubes). Independientemente del asunto del cambio climático, esta denominación es un error, ya que *todos* los procedimientos para obtener energía tienen un impacto ambiental negativo en alguna parte del proceso, ya sea durante la obtención del recurso o de los diversos materiales empleados

por la tecnología o en la elaboración de los artefactos o en su puesta en el sitio, lo que se expondrá más adelante. Por esta razón, lo adecuado es referirse a estas energías como *renovables*.

En el capítulo IX se señaló que en el mundo del petróleo y de la energía no hay sorpresas, tampoco milagros. Veamos. En 1997 el físico Fernando Alba en *Introducción a los energéticos* indicó:

En términos generales no es difícil especular sobre los energéticos que se utilizarán dentro de 30 años [2027]. En ese tiempo, las reservas de petróleo y de gas se habrán reducido notablemente y lo que queda se empleará en la petroquímica y transportación aérea.

[...] Por su abundancia, el carbón mineral será probablemente el energético más empleado, a pesar de la enorme contaminación que produce.

[...] Es muy probable que para esa fecha, se hayan construido reactores nucleares de fusión que produzcan más energía de la que consumen, pero es poco probable que en ese tiempo sean rentables.

Los reactores nucleares de fisión continuarán usándose, con modelos mucho más seguros, y contribuirán en forma importante a la energía primaria mundial.

Los países que tienen energía geotérmica [...] aumentarán su producción, pero en forma moderada.

La energía hidroeléctrica continuará aumentando lentamente, pero disminuirá en el porcentaje de la energía primaria.

Los países que disponen de fuertes vientos durante muchas horas y muchos días, emplearán con éxito este recurso.

El único energético que podrá competir con los hidrocarburos, el carbón mineral y la energía nuclear, es la energía solar, por estar disponible en grandes áreas de la Tierra y en cantidades inagotables.

[...] Dentro de 28 años (2025), las reservas de hidrocarburos se habrán reducido notablemente y su principal uso, las comunicaciones terrestres, tendrán que cambiar notablemente. La mayoría de los coches que se fabriquen en esa fecha, serán eléctricos. (Alba, 1997, pp. 152-153).

Veinte años antes, Hayes publicó *Rays of Hope*, uno de los primeros libros (quizá el primero) que planteó “la transición a un mundo pospetróleo”. Nos dice en la Introducción:

Por dos décadas, los países ricos han procedido en la creencia de que la era del petróleo sería sustituida por la era nuclear. Sin embargo, ahora parece cada vez más improbable que la energía nuclear se convertirá en la principal fuente comercial de energía del mundo industrial. (Hayes, 1977, p. 15).

Después indicó: “*algunas tecnologías solares serán limitadas por la escasez de los materiales requeridos para construir dispositivos para capturar y almacenar la energía de la luz solar*” (Hayes, 1977, p. 15). Considera como fuentes “*seguras sostenibles*” (cuando aún no se hablaba de sostenibilidad), a la energía solar (a pesar de lo ya dicho), el viento, el agua y las biológicas (residuos y cultivos). No analiza la fusión nuclear (aunque ironiza al respecto: dice que su investigación puede producir un premio Nobel algún día, pero ninguna línea de investigación sobre plantas de biogás ganará un viaje a Estocolmo) (Hayes, 1977, pp. 210-211).

En 2010 escribió Smil en el libro *Energy Transitions*:

Podemos afirmar algunas cosas con mucha confianza. Incluso si los más audaces objetivos nacionales para una relativamente rápida transición a las nuevas renovables fueran alcanzados, el suministro global de energía primaria en 2025 o 2030 será todavía abrumadoramente dominado por los combustibles fósiles y es altamente improbable que la participación combinada de carbo-

nes e hidrocarburos caerá debajo del 50 % de la demanda agregada de energía hacia 2050. Un mundo sin la combustión de carburantes fósiles puede ser altamente deseable, y eventualmente será inevitable, y nuestra determinación colectiva puede acelerar su llegada. Pero hacerla realidad demandará gran determinación, un compromiso extraordinario, gasto sustancial y una paciencia fuera de lo común mientras el proceso de una nueva transición energética de época se desarrolla a través de las décadas. (Smil, 2010b, p. 142).

Lo que se intenta destacar es que no ha cambiado en cuatro décadas el estado del conocimiento sobre los recursos energéticos, sus posibilidades y límites en términos generales: se sabe, desde hace tiempo, lo que se puede y no se puede hacer; el desafío ha sido y es aumentar los rendimientos y disminuir los impactos negativos.

Más aún, si bien el desarrollo tecnológico reporta avances al respecto, se hacen evidentes, con la implementación de las alternativas, las dificultades relacionadas con la infraestructura, los recursos humanos, el financiamiento, condiciones meteorológicas óptimas, etc. Y esto no es considerado y discutido como merece.

Hayes (1977) habla de la transición a un mundo pospetróleo a partir de la crisis del hidrocarburo de finales de 1973; Alba (1997) no escribe influido por el *shock*, su análisis es más objetivo, plantea que las reservas del petróleo y el gas se habrán “reducido notablemente” hacia 2025; Smil (2010b) reconoce la “inevitable” transición a un mundo pospetróleo. Como ya vimos, se espera que la producción de petróleo alcance su pico o punto máximo entre 2020 y 2030 (antes de 2050), habrá todavía mucho aceite por extraer, pero a un costo mayor.

La Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés, *International Energy Agency*) indica con relación al suministro de energía primaria, que en el año 2013 las fuentes no renovables (incluyendo aquí a la energía nuclear) representaron 86.2 %, mientras que las renovables sólo 13.8 %, siendo el principal recurso energético el petróleo (31.1 %) (IEA, 2015, p. 6) (Gráfica 2).

Gráfica 2. Suministro de energía primaria (2013).
Fuente: Elaboración propia con datos de IEA (2015, p. 24).

Una lectura más detallada permite identificar que del petróleo consumido, 63.8 % se utilizó en transporte y 20 % en actividades industriales, agrícolas, residenciales y de servicios públicos y comerciales (8.4 % la industria); con relación al carbón, 93.6 % en dichas actividades (78.9 % la industria) y sólo 0.3 % en transporte; el gas natural, 44.8 % en las diversas actividades (37.2 % la industria) y 6.9 % en transporte (IEA, 2015, pp. 32-34). Esto permite concluir que uno de los desafíos es el desarrollo de sistemas de

transporte y movilidad sin petróleo. ¿No es lo que se viene proponiendo desde hace años debido al tema de la sustitución de los hidrocarburos debido a la emisión de dióxido de carbono? Discutir esto bajo la lógica del mundo “libre” de carbono es muy diferente a analizarlo bajo la lógica energética en sí misma. Pero antes de pasar a esto, continuemos con el análisis de los recursos energéticos.

La participación de la energía nuclear es muy bajo, pero para visualizar su importancia, como a las renovables, es necesario analizar su participación en la generación de electricidad (Gráfica 3). Así, el recurso más utilizado es el carbón, con 41.3 %, la hidráulica aporta 16.3 %, la nuclear 10.6 % y las otras renovables en conjunto 5.7 %. Cabe añadir que el petróleo tiene una participación de sólo 4.4 % (en 40 años disminuyó en cerca de 20 %).

Gráfica 3. Generación de electricidad por combustible (2013).

Fuente: Elaboración propia con datos de IEA (2015, p. 25).

Se consume 56.2 % de la electricidad en actividades agrícolas, residenciales y de servicios públicos y comerciales, 42.3 % en la industria y sólo 1.5 % en transporte (IEA, 2015, p. 35).

Estos datos permiten definir el desafío de la transición, considerando particularmente la importancia de la electricidad subrayada por Beaudreau (1998).

Se podría concluir que ya tenemos un sistema eléctrico pospetróleo; ahora bien, de toda la electricidad, sólo el 1.5 % se destina al transporte; para hablar de un sistema eléctrico pospetróleo ese 1.5 % debe acercarse de forma importante o pasar el 63.8 % que aporta el petróleo al respecto, considerando también el 6.9 % que corresponde al gas natural.

Se tiene que producir más electricidad por el crecimiento económico y poblacional y el bienestar social; se tiene que producir más para sustituir el pequeño porcentaje que corresponde al petróleo (aunque algunos generadores de respaldo utilizan diésel); se tiene que pensar en sustituir al gas natural cuyo pico seguirá al del petróleo; se requiere aumentar para generar más poder para el transporte eléctrico, tanto privado como colectivo, intraurbano e interurbano. ¿Las renovables serán suficientes?

El hecho de que se han concentrado las políticas nacionales e internacionales en la mitigación del y la adaptación al calentamiento global, ha llevado a plantear una política energética bajo una lógica ecologista desconociendo o ignorando diversos factores, como la capacidad efectiva de las fuentes renovables. Reynolds y Smil, particularmente, aportan elementos para entender el desafío de la transición energética a un mundo pospetróleo, expondré lo que han dicho al respecto. Antes, para ubicar históricamente esta transición, se presenta en la Tabla 1 una síntesis de algunas de las principales características de las eras o modelos energéticos, la cual originalmente presenté en mi tesis de doctorado (Páez, 2009).

Interesa destacar las transiciones que condujeron al modelo industrial y al industrial avanzado.

Smil (1994) explica que el hecho que marca el inicio del modelo industrial es la extracción difundida del carbón. Si bien fue utilizado durante la antigüedad en China por la dinastía Han (206 a.n.e. a 220 de n.e.) y se reporta su extracción en Europa continental desde el siglo XII, fue Inglaterra el primer país en realizar el cambio del uso de la biomasa como combustible al carbón. La transición comenzó durante el siglo XVI después de serios déficits regionales de madera y el consecuente aumento de sus costos, junto con los del carbón de leña. Estos déficits empeoraron durante el siglo XVII, la utilización del carbón doméstico fue la solución obvia para resolver el problema energético. Hacia 1650 su producción anual excedió los 2 millones de toneladas, alcanzando los 3 millones al comenzar el siglo XVIII y más de 10 millones a inicios del siglo XIX (p. 159).

Tabla 1
Eras o modelos energéticos

Era o modelo energético Año aproximado de inicio y finalización	Características
(Paleoenergética) Preagrícola 2 millones - 9000 a.n.e.	<ul style="list-style-type: none"> Fuente de energía: el cuerpo humano, sol, biomasa Consumo de energía: limitado Herramientas de piedra Caza y recolección Sociedades simples
(Mesoenergética) Agrícola 9000 - 3000 a.n.e.	<ul style="list-style-type: none"> Fuente de energía: el cuerpo humano, sol, biomasa Consumo de energía: limitado, pero en aumento Herramientas de metal (cobre) Domesticación de animales y selección de plantas Sociedades simples Primeras ciudades (preurbanas)
(Mesoenergética) Agrícola avanzado 3000 a.n.e. - 1500 de n.e.	<ul style="list-style-type: none"> Fuente de energía: el cuerpo humano, sol, biomasa, animales, agua, viento Consumo de energía: limitado, pero en aumento Herramientas de metal (bronce, hierro) Domesticación de animales y selección de plantas, arado, irrigación, fertilización, diversidad de cultivos (intensificación de los rendimientos) Sociedades complejas (hidráulicas) Primeras civilizaciones urbanizadas; ciudades pequeñas (algunos grandes centros)
(Mesoenergética) Preindustrial 1500 - 1700 de n.e.	<ul style="list-style-type: none"> Fuente de energía: el cuerpo humano, sol, biomasa, animales, agua, viento Consumo de energía: limitado, pero en aumento Herramientas de metal Explotación más intensiva de los recursos naturales Sociedades complejas Ciudades pequeñas y medias (algunos grandes centros)
(Neoenergética) Industrial 1700 - 1900 de n.e.	<ul style="list-style-type: none"> Fuente de energía: el cuerpo humano, sol, biomasa, animales, agua, viento, coque, carbón Consumo de energía: ilimitado Máquina de vapor Herramientas y máquinas de metal Explotación intensiva de los recursos naturales Fase inicial de la mecanización de la agricultura Sociedades complejas Ciudades pequeñas, medias y grandes; crecimiento urbano generalizado en Europa

	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Fuente de energía: el cuerpo humano, sol, biomasa, animales, agua, viento, carbón, petróleo, gas natural, nuclear</i> • <i>Consumo de energía: ilimitado</i> • <i>Motores de combustión interna</i> • <i>Electricidad</i>
(Neoenergeica)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Herramientas y máquinas de metal</i>
Industrial avanzado	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Materiales sintéticos (petroquímica)</i>
(era del petróleo barato)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Explotación intensiva de los recursos naturales</i>
1900 de n.e.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Mecanización de la agricultura, agroquímicos</i> • <i>Sociedad del consumo y de la información, globalización</i> • <i>Sociedades complejas</i> • <i>Urbanización mundial (al comenzar el siglo XXI cerca de la mitad de la población mundial vive en ciudades —pequeñas, medias y grandes); zonas metropolitanas</i>
	→ <i>Crisis del modelo: ecocidio, agotamiento de los hidrocarburos</i>

Nota: Elaboración propia con datos de P. Bairoch (1990), B. Beaudreau (1998), A. Prades (1997), V. Smil (1994).

Señala Smil (1994) que el aumento del uso del carbón representó muchos problemas técnicos y organizacionales. Una vez que se agotaron los yacimientos superficiales, los operadores de las minas desarrollaron pozos más profundos, aunque estos raramente fueron mayores a 50 metros de profundidad al finalizar el siglo XVII; los más profundos superaron los 100 metros poco después del año 1700, los 200 metros hacia 1765 y los 300 metros después de 1830. Ahora bien, al desarrollar pozos más profundos, los operadores tenían que bombear la mayor cantidad de agua que encontraban, ventilar las minas y acarrear el carbón desde esas profundidades, además distribuir el producto entre sus clientes; para enfrentar estas necesidades se utilizaban molinos de viento, ruedas hidráulicas, caballos y mulas. El problema del bombeo del agua, nos dice Smil (1994), fue resuelto a través de máquinas de vapor, primeros artefactos en convertir la energía química del carbón en energía mecánica. Su evolución comenzó con los modelos contruidos por el físico Denis Papin a finales del siglo XVII y poco después por el ingeniero Thomas Savery. En 1712, el ferretero Thomas Newcomen construyó una máquina para dar poder a las bombas de las minas, la cual, después de 1750, gracias a subsecuentes mejoramientos, comenzó a propagarse en Inglaterra. En 1769 el ingeniero James Watt patentó un nuevo diseño que incrementó notablemente su eficiencia, abriendo el camino hacia la industrialización. Al comenzar el siglo XIX se desarrollaron modelos aún más eficientes, potentes y versátiles, los cuales se aplicaron para diversos usos en la manufactura, la construcción y el transporte. La minería del carbón y las máquinas de vapor se reforzaron mutuamente. Gran Bretaña fue el centro de esta revolución energética durante todo el siglo XIX (pp. 159-167).

Estados Unidos, país que tomó el liderazgo en la extracción de carbón en las primeras décadas del siglo XX, fue el escenario de la transición que marcó el paso del modelo industrial al modelo industrial avanzado; poco a poco el carbón fue sustituido por otro combustible de origen fósil, el petróleo. Smil (1994) indica que el uso del petróleo para sustituir el costoso aceite de ballena, empleado como combustible en los quinqués, fue el estímulo que dio origen a la industria petrolera a mediados del siglo XIX, marcando el inicio de esta transición. Así como el carbón se usó para dar poder a las máquinas de vapor, el petróleo permitió el mejoramiento de los motores de combustión interna, desarrollo que a su vez aumentó el consumo de este combustible. Los primeros prototipos de los motores de combustión interna se construyeron a mediados del siglo XIX. En 1876 el ingeniero Nikolaus Otto perfeccionó los diseños desarrollando el motor de cuatro tiempos, el cual utilizaba como combustible gas obtenido del carbón. Su comercialización se hizo posible gracias a la invención del motor de gasolina por el ingeniero Gottlieb Daimler en 1883. Este motor permitió al ingeniero Karl Benz construir el primer automóvil dos años después. En 1892 el ingeniero Rudolf Diesel desarrolló un motor más eficiente, pero más pesado, que puede utilizar combustibles líquidos menos ligeros (pp. 167-169).

El uso de vehículos motorizados impulsados por gasolina aumentó dramáticamente la demanda de petróleo a partir de las décadas de 1910 y 1920, sobre todo en Estados Unidos, pero, como señala el historiador Joseph Pratt (1983), antes de este fenómeno el petróleo ya había comenzado a invadir varios mercados importantes de combustible tradicionalmente cubiertos por el carbón en ese país (p. 17). Indica que la transición energética del carbón al petróleo no siguió un patrón de sustitución por escasez, como ocurrió con el paso de la madera al carbón, de hecho el consumo del carbón también aumentó, la transición fue planificada: varias empresas petroleras jóvenes (entre ellas Texaco, Gulf Oil y Standard Oil de California) promocionaron agresivamente el uso de este recurso. El ascenso inicial del petróleo fue un proceso regional, no desafió directamente al “*rey carbón*” en muchas de sus tradicionales plazas fuertes en los centros industriales del noreste y medio oeste de Estados Unidos, se concretó más completa y velozmente en los principales centros poblados del oeste, suroeste y sur del país (el denominado “Cinturón del Sol”), los cuales habían ido creciendo aun antes del descubrimiento de nuevos e importantes yacimientos petrolíferos en California, Texas, Oklahoma y Louisiana. El petróleo multiplicó su desarrollo al brindar una fuente barata de combustible tanto para los sectores manufactureros como para el transporte, en esas regiones la industrialización había estado frenada por la falta de acceso al carbón (pp. 18-20).

Ahora bien, las ventajas del uso del combustóleo (*fuel oil*), la gasolina y otros derivados del petróleo sobre el carbón poco a poco fueron quedando a la vista: son más fáciles de manejar y, por lo tanto, su transporte y almacenamiento son menos costosos, su combustión es más limpia y produce menos molestias y el calor que genera es de mejor calidad en términos de eficiencia (Pratt, 1983, pp. 24-25, 32).

Los primeros mercados importantes para el petróleo fueron los ferrocarriles y los buques de vapor; el gran ahorro de combustible que registraron también llevó a las industrias de uso intensivo de energía a hacer la conversión. En el Cinturón del Sol las compañías petroleras fortalecieron su posición invirtiendo en oleoductos y buques cisterna para aumentar el transporte del recurso. Es precisamente esta región la que marca el camino de la transición, de esta manera, San Francisco, Los Angeles, Houston y Dallas, cuyas poblaciones combinadas sumaron casi 1.4 millones de habitantes en 1920 —cuando en 1900 sólo alcanzaban el medio millón—, pasaron a depender casi exclusivamente del petróleo para satisfacer sus crecientes necesidades de energía (Pratt, 1983, pp. 20-24).

La cercanía de los yacimientos carboníferos a algunos ríos o centros industriales y el temor de que escaseara el petróleo, le permitió al carbón competir por varios años, pero entre 1900 y 1930 diversas huelgas interrumpieron varias veces su suministro, además continuaba anunciándose el descubrimiento de nuevas reservas de petróleo; esto cambió la percepción de los consumidores. Más aún, señala Pratt (1983), un factor determinante en la adopción del combustóleo fueron los bajos precios que ofrecieron sus productores para promover la nueva fuente de energía en diversas industrias, de hecho en algunas ocasiones colocaban el energético sin costo alguno, la competencia era feroz entre las petroleras en las ciudades donde ya se comercializaban los derivados del hidrocarburo (pp. 25-26).

Así, la transformación de la industria del petróleo —de la producción de queroseno a la producción de combustóleo y luego de gasolina—, ocupó el centro de la transición del carbón al petróleo (Pratt, 1983, p. 28). El crecimiento de la industria automotriz y del transporte, en general, a escala mundial convirtió al petróleo en el principal energético en la década de 1960 (Smil, 1994, p. 233).

Como hemos visto, el carbón ha mantenido su importancia porque es el principal recurso utilizado para generar electricidad.

En 2002, Reynolds publicó un libro titulado *Scarcity and Growth Considering Oil and Energy* (Escasez y crecimiento considerando el petróleo y la energía), el cual reúne artículos publicados en la década de 1990 por este autor en diversas revistas científicas. Plantea con claridad el desafío de la transición a un mundo pospetróleo (o poscombustibles de origen fósil, para analizar el tema con una perspectiva más amplia).

Reynolds (2002) destaca a la tecnología como “*un ingrediente de los periodos de alto crecimiento económico y poblacional*” (p. 112), sin embargo, otro ingrediente que tiene la misma importancia es “*la calidad o valor inherente de los insumos o recursos energéticos disponibles para una economía*” (p. 112), lo cual, apunta, tiene que ver con la productividad:

Cada tipo de recurso energético tiene un potencial físico inherente para ser más o menos productivo y este potencial es la calidad de energía. Los recursos energéticos de más alta calidad tienen más potencial de ser productivos que los recursos de más baja calidad. (Reynolds, 2002, p. 112).

Añade que “la energía es la fuerza motriz detrás de la producción industrial y es ciertamente la fuerza motriz detrás de la actividad económica” (Reynolds, 2002, p. 112):

Si los recursos energéticos disponibles de una economía tienen baja calidad, esto es, baja productividad potencial, entonces no habrá nueva tecnología para estimular el crecimiento económico como consecuencia [...] Recursos de alta calidad pueden funcionar como potenciadores de la tecnología, pero recursos de baja calidad pueden frenar el vigor de la nueva tecnología. Esto lleva a la conclusión de que es importante enfatizar con más profundidad el papel de la naturaleza inherente de los recursos en el crecimiento económico. (Reynolds, 2002, p. 112).

El concepto de *calidad de energía* que define Reynolds (2002) identifica las características físicas de los recursos energéticos, las cuales le permiten a la economía extraer servicios de manera más barata de cada unidad de energía; presenta cuatro calidades (resumen):

1. *Calidad de peso: determina cuánta energía hay por libra o kilo (unidad de peso) de la fuente energética. Determina el desempeño energético. El peso del combustible necesita energía para ser transportado: más peso requiere más energía.*
2. *Calidad de volumen: determina cuánta energía hay por metro cúbico (unidad de volumen) de la fuente energética. Una calidad de volumen baja es difícil de transportar.*
3. *Calidad de área: cuánta energía hay por área de existencia del recurso energético en su estado original. Si el contenido energético está esparcido, costará más obtener la energía porque se requerirá más gasto (capital) en movilidad para la extracción (al ser menor el capital disponible no habrá rendimientos crecientes a escala).*
4. *Calidad de estado (líquido, gaseoso, sólido, campo): la forma o estado en que se presenta el recurso.*
 - *Líquido: es la mejor calidad porque son los recursos que es más fácil transportar, almacenar y usar. Esto los hace más baratos.*
 - *Gaseoso: es la siguiente mejor calidad en una atmósfera y presión estándar. Es más difícil de transportar que un líquido porque por naturaleza tiene una menor calidad de volumen y tiene que mantenerse bajo presión.*
 - *Sólido: se requieren mecanismos más complicados para transportarlos, almacenarlos y quemarlos. No se pueden bombear.*
 - *Campo: Incluye fenómenos como los campos de presión (energía eólica y el poder hídrico) y campos de radiación (energía solar y nuclear); son la peor calidad. El principal problema con ellos es que son difíciles de almacenar; los campos nucleares no son difíciles de almacenar, pero sí de contener (riesgos ambientales). Hay cuatro manifestaciones físicas de la calidad de energía de campo: i) presión: cuando hay una diferencia en la presión, esto es, cuando un fluido empuja un artefacto (molino, turbina): energía eólica, hidráulica; ii y iii) eléctrica y magnética: son usados en procesos de conversión energética sólo después de que otro recurso fue usado, por lo tanto, no son fuentes de energía; iv) radiativa: en la energía solar la radiación crea calor o electricidad, en la energía nuclear los combustibles (uranio) irradian-emiten partículas alfa, beta o gama. (Reynolds, 2002, pp. 113-117).*

Siguiendo esto, indica Reynolds (2002) que los recursos con más calidad son el petróleo, el gas natural y el carbón (en este orden) (p. 118).

Reynolds (2002) apunta, retomando la relación entre la calidad de los recursos energéticos y la actividad económica, que muchas de las más grandes épocas en la historia *“ocurrieron en un punto en el tiempo cuando la economía comenzó a usar un recurso de alta calidad energética”* (p. 118); ejemplifica esto señalando el paso de la caza a la agricultura (Egipto y Mesopotamia), de la madera al carbón (Inglaterra en el siglo XVIII) y del carbón al petróleo (Estados Unidos en el siglo XX). Concluye que estos cambios, consecuencia de los recursos de alta calidad y la tecnología, crearon más bajos costos de producción, lo que favoreció el crecimiento económico (pp. 119-120).

Sobre *“nuestra emergente”* transición energética (del petróleo a alternativas al petróleo), apunta, y esto debe destacarse: que *“otras transiciones fueron a energías de más alta calidad, no a menores”* (Reynolds, 2002, p. 127); lo que le lleva a expresar preocupación sobre qué tan exitosa será esta transición. Así, propone tres escenarios:

1. *La economía va a un recurso de más alta calidad energética, creando una transición energética exitosa.*
2. *La economía va a un recurso de más baja calidad energética con mejor tecnología, creando una transición energética menos exitosa pero aceptable.*
3. *La economía va a un recurso energético de baja calidad con tecnología virtualmente sin cambios, creando una transición energética fracasada.* (Reynolds, 2002, p. 127).

Al analizar el escenario 1, señala que no existe ese recurso de alta calidad, o sea, es improbable: el gas natural tiene algunas características de baja calidad; la energía solar es difícil de almacenar, impráctica para el transporte y otros propósitos; la nuclear tiene otros problemas, ya que sólo puede usarse para producción a gran escala, es cara en comparación al carbón y en el tema del transporte no aplica (Reynolds, 2002, pp. 127-128).

Con relación al escenario 2, se requieren mayores rendimientos en el mismo espacio y minimizar efectos negativos (Reynolds, 2002, p. 128).

En el escenario 3, se presentan muy bajas tasas de crecimiento económico o incluso decrecimiento económico, el uso de recursos energéticos de baja calidad podría ser un obstáculo a la productividad (Reynolds, 2002, p. 128).

Con base en el marco energético que ha construido, Reynolds (2002) invita a definir las épocas económicas de la historia no sólo por las innovaciones, sino también por los cambios en la calidad de los recursos energéticos, *“ambos merecen el mismo estatus como causas de las épocas económicas”*, ya que los recursos con más alta calidad energética *“permiten rendimientos crecientes de escala ya que son menos dispersos, más concentrados a granel o más flexibles en uso”* (pp. 128-129).

Advierte que en la nueva transición debemos movernos eventualmente a recursos de menor calidad energética en la medida que paulatinamente nos quedemos sin petróleo:

Por lo tanto, debemos esperar una transición del petróleo a alternativas al petróleo que será decisivamente una transición energética menos exitosa que transiciones energéticas previas en la historia, ya que todas las transiciones previas fueron de recursos energéticos de baja calidad a alta calidad. (Reynolds, 2002, p. 129).

Considera que un mayor progreso técnico ayudará, pero *“debemos esperar una menor tasa de crecimiento durante y probablemente después de la próxima transición energética”* (Reynolds, 2002, p. 129), ya que será una época donde se presentará el uso de recursos de más baja calidad energética con más altos costos de producción y más baja productividad para la economía (Reynolds, 2002, p. 129). Concluye:

Es posible que recursos energéticos alternativos ayuden a la economía mundial una vez que los suministros de petróleo se agoten. Sin embargo, todos los recursos energéticos alternativos tienen más baja calidad energética que el petróleo. En la medida que el mundo cambie del petróleo a estos recursos energéticos, las economías de escala inherentes a la calidad energética del petróleo se perderán y provocarán que la economía mundial decaiga. En pocas palabras, la transición a energías alternativas causará menores economías de escala. Esto causará descenso económico. La declinación en las economías del mundo será simultánea con una más alta inflación, creando estanflación. Esto es exactamente lo que sucedió en la década de 1970, con una inflación muy alta simultáneamente durante una recesión, y esto seguramente sucederá otra vez tan pronto como la demanda mundial de petróleo presione fuerte contra el suministro mundial en el futuro. (Reynolds, 2002, pp. 175-176).

Reynolds (2002) define el problema con claridad y explica por qué es importante el petróleo. Siguiendo sus palabras, el escenario 2 de la transición es en lo que debemos trabajar.

Para entender mejor lo dicho por Reynolds, en la Tabla 2 se presenta la energía específica (cantidad de energía contenida por unidad de masa) o la densidad de potencia (cantidad de energía producida por unidad de superficie) de los recursos energéticos.

En 2010 Smil publicó *Energy Myths and Realities* (Mitos y realidades energéticas) y *Energy Transitions* (Transiciones energéticas), libros que pueden leerse como una sola obra en donde plantea un marco para analizar y pensar en la nueva transición energética, ya que el primero analiza críticamente las tecnologías y modelos que se proponen como alternativas a los combustibles de origen fósil.

Smil (2010b) indica que “es imperativo darse cuenta que el proceso será considerablemente más difícil” (p. 108) de lo que comúnmente se piensa, señalando cinco razones que explican el desafío:

1. *la escala general del cambio, sea a nivel global o en las más grandes economías,*
2. *las [menores] magnitudes de los recursos energéticos renovables y su sorprendente distribución desigual,*
3. *la naturaleza intermitente y en grado significativo impredecible de la mayoría de los flujos de energía renovable,*
4. *la más baja densidad energética [cantidad de energía producida por unidad de volumen] de los combustibles producidos para remplazar a los combustibles fósiles sólidos y líquidos,*
5. *quizás lo más importante, las sustancialmente más bajas densidades de potencia con las que podemos aprovechar a las energías renovables. (Smil, 2010b, p. 108).*

Smil (2010b) señala que una investigación cuidadosa de las transiciones energéticas siempre revela que su progreso requiere “una secuencia específica de avances científicos, innovaciones técnicas, acciones organizacionales y circunstancias económicas y políticas así como estratégicas” (p. 20). La falta de uno de estos componentes en dicha secuencia o retrasar su introducción o efectos debido a un acontecimiento no previsto, “se traduce en resultados muy diferentes y en periodos de transición más largos” (p. 20).

Este autor trata ampliamente diversos aspectos, entre ellos: el ritmo o paso de la transición; los límites de la energía eólica, la solar y la biomasa, en especial el etanol; límites de los motores y de los autos eléctricos; límites de la eficiencia energética; y lo que podemos llamar implicaciones de la transición, donde señala cuestiones de tipo financiero, el impacto de las crisis económicas y habla sobre la necesidad de considerar a la energía nuclear.

Smil (2010a) apunta que el pico de petróleo ocurrirá entre 2020 y 2040, con una producción de no más de 100 millones de barriles diarios (Mbd) (en 2014 se produjeron 93.2 Mbd), estimando el nivel de extracción en 2080 “aún arriba del nivel de 2005” (p. 74) (que fue de poco más de 85 Mbd). Apunta que hay reservas de petróleo convencional y las de no convencional son abundantes, “aunque su tasa

de extracción será relativamente modesta” (p. 76). Comenta que “no será un pico con una precipitada caída sino una meseta; se desarrollará lo no convencional y el gas natural” (p. 76). Por esta razón indica que el petróleo “continuará siendo el principal contribuidor al mercado mundial durante la primera mitad del siglo XXI” (p. 77). Ahora bien, advierte que la demanda “puede caer drásticamente, ya sea por una acción concertada o por una prolongada caída de la economía global” (p. 76). Siendo lo segundo lo más probable.

Explica que la extracción de cualquier recurso mineral “debe eventualmente declinar y cesar, debido al agotamiento físico de un depósito en particular o, mucho más comúnmente, por razones económicas, como el aumento de los costos de financiamiento y la caída neta del retorno energético” (Smil, 2010a, pp. 76-77), lo que obliga a usar alternativas.

Antes de continuar con Smil, vale profundizar aquí sobre el “retorno energético”, tema que ha sido tratado especialmente por Hall et al. (1986), quienes analizan la ecología y la economía con el propósito de entender las “interdependencias entre los sistemas humanos y naturales, usando la energía y la calidad de los recursos naturales como denominadores comunes para medir la actividad en ambos sistemas” (p. xiii). Para esto usan dos enfoques: en el primero, estudian cómo la energía “es utilizada para transformar los recursos naturales en bienes y servicios para satisfacer las necesidades materiales de la sociedad y cómo estos bienes y servicios son distribuidos” (p. xiii), empleando para esto como principal herramienta conceptual la noción retorno en energía invertida (o tasa de retorno energético) (*return on energy investment*). El segundo, es una visión de conjunto “de lo que percibimos como las propiedades esenciales de los sistemas de recursos fundamentales de la sociedad, incluyendo una evaluación de los costos energéticos y ambientales de esos recursos” (p. xiii).

Sobre la energía, indican que es “especial”, porque, a diferencia del trabajo y el capital, “sólo puede usarse una vez y la disponibilidad de muchos combustibles importantes está declinando” (Hall et al., 1986, p. 28). Explican que es utilizada en la producción económica en dos etapas generales: primero, la energía solar, geológica y otras energías naturales producen una amplia variedad de recursos naturales y servicios ambientales que son esenciales para la existencia humana y la producción económica; en la segunda, las energías producidas directamente por el ser humano, incluyendo el trabajo muscular humano, animales de tiro, combustibles fósiles y la energía atómica, son utilizadas para localizar, extraer, refinar, procesar, montar, transportar y mejorar de diversas maneras el estado de la organización de los recursos naturales en bienes y servicios útiles. Llamam a todas las energías “que controlan y dirigen los humanos para sus propios propósitos energías económicas. Estas son usadas para hacer trabajo económico: la transformación de los recursos naturales en producción económica” (Hall et al., 1986, p. 28). Así:

La cantidad de trabajo económico posible depende tanto de la cantidad como de la calidad de la energía dirigida a la tarea y de la eficiencia del proceso. Aunque la tecnología cumple un papel importante, la cantidad y calidad de los combustibles establece límites superiores en estos aspectos de la producción económica. Combustibles de alta calidad existen en formas más concentradas, son más flexibles, requieren menos procesamiento y pueden ser usados con más altas eficiencias de uso final [...] Por ejemplo, 100 kcal de carbón pueden hacer más trabajo que 100 kcal de luz solar. (Hall et al., 1986, p. 28).

Añaden que otro aspecto importante de la calidad del combustible es:

la cantidad de energía requerida para localizar, extraer y refinar combustibles en un estado socialmente útil. El proceso mediante el cual la sociedad invierte parte de su ya extraída energía (excedente) para hacer disponibles cantidades adicionales de combustible es llamada proceso de transformación de energía. Este aspecto de la calidad del combustible es medido por el retorno energético de la inversión (EROI) [energy return on investment]. (Hall et al., 1986, p. 28).

Esto, sintetizan, se puede expresar de la siguiente manera: $EROI = \text{kcal de combustible extraído} / \text{kcal de energía requerida directa e indirectamente para localizar, extraer y refinar el combustible}$.

EROI es el cociente de la cantidad bruta de combustible extraído en el proceso de transformación energética entre la energía económica requerida para hacer que ese combustible sea disponible para la sociedad. El denominador de la proporción de la EROI incluye el uso directo de combustibles y a otras energías económicas indirectas menos obvias. (Hall et al., 1986, p. 28).

Explican, como ejemplo, que además de los combustibles usados para bombear el petróleo del subsuelo, como el gas natural, es usado combustible indirectamente para producir equipo (capital), incluyendo plataformas, brocas y refinerías, para apoyar a los trabajadores que controlan el proceso y para mantener servicios gubernamentales como la construcción de caminos usados por la industria energética (Hall et al., 1986, p. 28).

Señalan que la EROI de un combustible no es constante: “*el costo energético de extraer combustibles varía en la medida que la calidad de los depósitos promedio cambia y evoluciona la tecnología extractiva*” (Hall et al., 1986, p. 29), así:

En la medida que los combustibles no renovables son agotados, se usan yacimientos de menor calidad. Estos yacimientos de menor calidad a menudo requieren nueva tecnología que usa más combustible directa e indirectamente para extraer una kilocaloría de combustible. Debido a que estos yacimientos de baja calidad requieren más energía para recolectar el recurso, su EROI cae. (Hall et al., 1986, p. 29).

Hall et al. (1986) advierten que el desarrollo de tecnologías cada vez más sofisticadas “*en raras ocasiones compensa los crecientes requerimientos energéticos para encontrar y extraer recursos combustibles de más baja calidad*” (p. 29). De esta manera, la energía neta es una medida más relevante con relación al suministro energético de una nación que la energía bruta “*porque la energía neta es la energía disponible para producir bienes y servicios finales*” (p. 29):

Si la EROI agregada de los combustibles usados [...] fuera 1 kcal obtenida por 1 kcal invertida (1:1), no habría combustible restante para los autos, calentar los hogares o producir otros bienes y servicios asociados con el alto nivel de vida —todo hubiera sido usado para extraer y procesar nuevas cantidades de combustible. (Hall et al., 1986, p. 29).

Señalan que “*la EROI agregada de los combustibles es importante porque establece el límite superior de cuánto trabajo un sistema económico puede realizar, y fundamentalmente, por el estándar de vida posible*” (Hall et al., 1986, p. 29).

Si bien apuntan que otros factores físicos son importantes, como la eficiencia energética, así como factores humanos (culturales y políticos), los recursos naturales establecen restricciones importantes: “*Los factores humanos no pueden anular las restricciones termodinámicas, así que, siendo las demás cosas iguales, las economías con acceso a combustibles con más alta EROI pueden hacer trabajo económico más útil que aquellas con más baja EROI*” (Hall et al., 1986, p. 29).

En un artículo publicado en 2011, Hall y el economista Ajay Gupta presentaron una revisión de datos de la EROI, se expone en la Tabla 2 su síntesis. Siguiendo esto, el recurso que no debe desarrollarse es el etanol, mientras que las complicaciones de los esquistos, las arenas bituminosas y algunos proyectos solares ya son evidentes.

Cabe añadir aquí que el concepto de “rentas de energía” de Beaudreau (2005) es la medición monetaria de la energía neta, “*operacionalizada en términos del correspondiente retorno energético sobre inversión (EROI)*” (p. 64): es la “*plusvalía (valor añadido) físicamente producida por el insumo energético*”

(p. 57). La energía neta es *“la energía cedida a la economía principal que está en exceso de la requerida para su procesamiento”* (Odum y Odum, 1981, p. 167).

Continuando con este paréntesis, es de utilidad para el análisis presentar aunque sea brevemente el concepto *energía* (con *m*), elaborado por Howard Odum, que define como *“la energía disponible de un tipo que tiene que ocuparse directa e indirectamente para hacer un producto o servicio”* (Odum y Odum, 2001, p. 67). Siguiendo esto, presenta la noción de *transformidad* o *“la energía de un tipo necesaria para generar una unidad de energía de otro tipo”*, así, para calcular la transformidad de un producto, explica, se evalúan *“las diversas energías usadas previamente directa e indirectamente para hacerlo”* (Odum y Odum, 2001, p. 68). Indica que los artículos con una gran transformidad (mucha energía invertida en ellos) deben ser considerados más valiosos. Señala que las transformidades *“proveen un principio general de política: No usar productos de gran calidad para propósitos de baja calidad”* (Odum y Odum, 2001, pp. 68-69). En la Tabla 2 se presenta una síntesis de los rendimientos netos de energía de diversos recursos energéticos calculados por este autor. Una vez más, se hacen evidentes las limitaciones de las alternativas al petróleo.

Regresando a Smil (2010b), sobre el ritmo de la transición, apunta que las sustituciones de energéticos se presentan *“con extrema lentitud”* (p. 70), tomando alrededor de 100 años para participar del 1 al 50 % del mercado; incluso será un asunto prolongado en los países donde los recursos (sol, viento, agua, etc.) están fácilmente disponibles (p. 104).

Señala que la escala de la próxima transición se ilustra bien *“comparando la futura demanda de combustibles no fósiles y electricidad primaria con la demanda pasada de energéticos de origen fósil que fue necesaria para completar el cambio de época de la biomasa al carbón y los hidrocarburos”* (Smil, 2010b, p. 108):

Hacia el final de la década de 1890, cuando el porcentaje de energía de la biomasa caía debajo del 50 % del suministro total mundial de energía primaria, menos de 20 exajoules (EJ) de combustibles de origen fósil fueron requeridos para sustituir todo el consumo de energía restante proveniente de la biomasa. Hacia 2010, el uso global de energéticos de origen fósil se ubica en una cantidad anual de aproximadamente 400 EJ, lo que significa que la necesidad del suministro de nuevos energéticos no fósiles es veinte veces mayor en términos de energía total para remplazar al carbón y a los hidrocarburos de lo que fue requerido para remplazar a los energéticos no fósiles durante finales del siglo XIX. (Smil, 2010b, p. 108).

Smil (2010b) explica que se requieren infraestructuras masivas para extraer, aprovechar, procesar, transportar y convertir los energéticos (p. 125). Por lo que advierte que no podemos esperar que el mundo *“simplemente se alejará de las infraestructuras de los combustibles fósiles y la energía nuclear, cuyo costo de remplazo es valuado al menos en 15-20 billones de dólares, antes de que estas inversiones sean pagadas y produzcan ganancias”* (p. 126). Esto debe tenerse en cuenta al hablar del costo y la complejidad de la nueva infraestructura requerida.

Más aún, indica que *“discontinuidades inesperadas”* han afectado fuertemente la *“viabilidad económica, la aceptación pública y el apoyo gubernamental de nuevos combustibles y nuevas conversiones técnicas”* y que ellas *“han cambiado, o incluso revertido, su adopción o velocidades de difusión”* (Smil, 2010b, p. 138). Algunos ejemplos al respecto son:

cambios imprevistos en los precios de energía; la llegada relativamente sorpresiva de nuevos consumidores importantes al mercado global; pérdida de confianza en enfoques que fueron inicialmente promocionados como efectivos y en soluciones gratificantes, proceso que comienza con una adopción repentina y termina con un abandono igualmente repentino de técnicas problemáticas o inmaduras; los efectos de las implicaciones ambientales de largo plazo en el uso de la energía; crisis económicas sin precedente; un manejo fiscal cuyos efectos más dolorosos

pueden ser pospuestos, pero no evitados; y el recurrente afán de gobiernos para apoyar soluciones de moda cuyos impactos a largo plazo se convierten en limitados o inexistentes. (Smil, 2010b, pp. 138-139).

Smil (2010a) explica que las sustituciones de recursos energéticos y la adopción de nuevos combustibles y técnicas de conversión de electricidad es un proceso que casi inevitablemente sigue una progresión que se distingue *“por sus lentos avances iniciales seguidos por un aumento rápido, un eventual punto de inflexión y una rápida disminución de incrementos hacia la saturación”* (p. 140). En el caso del suministro de energía primaria, *“el lapso de tiempo necesitado para una significativa penetración del mercado es principalmente una función de financiar, desarrollar y perfeccionar infraestructuras necesariamente masivas y caras”* (p. 140). Mientras que en el de los motores, *“hay a menudo inercia a depender de una máquina que puede ser menos eficiente (máquina de vapor, motor de gasolina) que en una nueva máquina”,* pero cuyo *“marketing y servicio están bien establecidos y las peculiaridades y debilidades de su desempeño son bien conocidas”* (p. 140); la preocupación es que la rápida adopción de un convertidor superior pueda traer problemas y contratiempos inesperados. Sostiene que:

Todas las transiciones energéticas tienen una cosa en común: son asuntos prolongados que toman décadas para cumplirse, y mientras mayor sea la escala de usos y conversiones prevalecientes, más grandes serán las sustituciones que se tomarán. Aunque la segunda parte de la afirmación parece ser una perogrullada, es ignorada a menudo, así como la primera. (Smil, 2010a, pp. 140-141).

Insiste en señalar que la escala de la próxima transición energética es *“de una magnitud sin precedentes”* (Smil, 2010a, p. 141) debido a que las proporciones de nuevas energías en el mercado global permanecen despreciables.

Smil (2010a) concluye esta parte de su análisis advirtiéndolo que *“ningún plan grandioso dirigido a hacer cambios rápidos y de gran escala del suministro de energía primaria o a la adopción comercial acelerada y amplia difusión de nuevas técnicas de conversión ha sido particularmente exitoso”* (p. 161) y que la adopción de nuevos combustibles, nuevas maneras de generación de electricidad y nuevos motores *“está casi siempre atada a importantes desarrollos de infraestructura que requieren grandes inversiones de capital”* (p. 161), lo que inevitablemente confronta *“complicaciones medioambientales, legales y organizacionales y puede ser obstaculizado por percepciones de riesgo irracionales”* (p. 161).

Al mirar críticamente a la energía eólica, Smil (2010b) indica que en la fabricación de sus torres de acero (metal derretido derivado del carbón o reciclado) en hornos de arco eléctrico se utiliza electricidad generada principalmente de turbogeneradores alimentados por combustión de carbón o gas natural, mientras que las aspas son hechas de plásticos sintetizados de materias primas derivadas del petróleo crudo, cuya extracción *“sería impensable”* sin poderosas motores diésel (p. 61). En los países donde los recursos eólicos están concentrados lejos de los principales centros de carga, será necesaria una inversión *“extensa, cara y por adelantado en ligas de transmisión de alto voltaje”* (p. 145). Además de los límites de las eficiencias de las turbinas (pp. 121-123). Si bien reconoce que la conversión de energía cinética de los vientos a través de grandes aerogeneradores puede llegar a contribuir de manera importante en el suministro eléctrico general, *“no puede llegar a ser la fuente más grande, menos aún el modo dominante de generación”* (p. 132).

Apunta que las restricciones materiales y en infraestructura con relación a la energía solar son aún más importantes que para la generación eólica (Smil, 2010b, p. 145).

El problema con el aprovechamiento de la biomasa a través de plantaciones es la necesidad de agua y nutrientes (Smil, 2010b, p. 111), el reclamo de tierras para las plantaciones en sí y las líneas de transmisión de alto voltaje si se construyen plantas para generar electricidad para abastecer a las ciudades (Smil, 2010b, p. 114) y el hecho de que la productividad de la biomasa vegetal ya es reclamada por las diversas especies que pueblan la Tierra, las cuales prestan servicios ambientales (Smil, 2010b, p. 115).

Smil (2010a) se manifiesta en contra del etanol, ya sea de maíz o caña de azúcar, no sólo por su bajo retorno energético, también por los serios desajustes medioambientales (por la agricultura intensiva) y económicos y sociales (encarecimiento de alimentos) que provoca (p. 106). Sostiene que *“más importante que el hecho de que los biocombustibles líquidos no pueden remplazar a los productos refinados del petróleo en el transporte, es que no deberían hacerlo”* (p. 115).

Sobre los motores, Smil (2010b) señala que *“la capacidad de las unidades típicas de turbo generación a través de vapor ha estado estancada”* (p. 121) desde los inicios de la década de 1970 y *“tanto el máximo como la eficiencia promedio de las plantas que usan combustibles de origen fósil no han mejorado”* (p. 121) desde inicios de la década de 1960.

Sobre los autos eléctricos, sus principales problemas, incluso desde principios del siglo XX, han sido superar la eficiencia de los motores de gasolina y su alto costo (Smil, 2010a, pp. 19-30). Más aún, el mayor uso de vehículos eléctricos, como ya se comentó, aumentará la demanda de electricidad.

Con relación a la eficiencia energética, Smil (2010b) indica que *“mejores eficiencias de conversión en sí mismas no son suficientes”* (p. 150), ya que ellas seguirán confirmando una *“perdurable verdad”* de la paradoja anunciada por el economista Stanley Jevons, la cual dice que: *“es una completa confusión de ideas suponer que el uso económico de un combustible es equivalente a la disminución de su consumo. Todo lo contrario es la verdad”* (Jevons, 1865 citado en Smil, 2010b). Concluye Smil que una precondition de una nueva transición exitosa debe ser *“evitar consumir más eficientemente más energía”* (p. 150), y esto significa que el paso más importante que se debe tomar es *“la gradual pero significativa reducción general del uso de la energía”* (p. 150).

Cabe indicar que Smil (2010a) valora positivamente a la energía nuclear como complemento de las renovables: *“ningún plan energético racional de largo alcance de cualquier economía moderna importante”* (p. 40) deberá excluirla; el debate *“deberá ser sobre el mejor modo de proceder, no sobre si proceder o no en lo absoluto”* (p.154), lo que incluye la disposición de los residuos radiactivos. No obstante, indica que *“aunque se considere, su contribución será modesta”* (p. 43).

Una de las implicaciones de la transición energética que señala Smil (2010b) tiene relación con las *“muy grandes necesidades de espacio”* (p. 117) debido a las bajas densidades de potencia de las fuentes de energía renovable, pensando también en la cada vez mayor demanda que surge de los usos finales en ciudades y áreas metropolitanas en todo el mundo, en donde la demanda es de cientos o miles de watts por metro cuadrado (p. 117). Esto requerirá una *“profunda reestructuración espacial”* (p. 118):

Para energizar las infraestructuras residenciales, industriales y de transporte heredadas de la era de los combustibles fósiles, una sociedad basada en lo solar tendría que concentrar flujos difusos para superar brechas de densidades de potencia de dos a tres órdenes de magnitud. La adopción masiva de energías renovables por lo tanto requeriría una reorganización de las modernas infraestructuras energéticas, desde un sistema dominado por la difusión global de energías concentradas desde un relativo número limitado de nodos donde se extraen los combustibles con muy altas densidades de potencia, a un sistema que coleccionaría combustibles de baja densidad energética a baja densidad de potencia sobre áreas extensas y concentrarlos en los cada vez más poblados centros de consumo. Esto no es imposible, pero los desafíos de esta masiva reorganización infraestructural no debe ser subestimada y el tiempo de esta gran transformación tendría que ser necesariamente lento. (Smil, 2010b, p. 119).

Smil (2010b) cierra su análisis advirtiéndole sobre el impacto que severas y prolongadas crisis económicas pueden tener en la transición al afectar las políticas y su resiliencia *“durante el periodo de precios altamente fluctuantes o precipitadamente decrecientes y la capacidad para sostener altos niveles de inversión/subsidios/impuestos preferentes”* (p. 147).

Ahora bien, estas crisis no sólo afectan el desarrollo de las energías renovables, impactan el desarrollo energético en general, tanto de proyectos petroleros no convencionales como nucleares. Esto debe

ser parte de la planificación de la transición, no un elemento negativo externo que afecta lo ideado. El desarrollo sostenible y el discurso climático catastrofista no se construyeron considerando esto. Su discusión se hará en otro capítulo.

Cabe subrayar que la transición energética, siguiendo a Smil, no sólo debe concentrarse en el desarrollo de las energías renovables —a pesar de sus limitaciones— y en lo posible de la energía nuclear, es necesario disminuir el consumo, ya que no es suficiente obtener una mayor eficiencia energética. Esta disminución tiene un componente económico y cultural, que se manifiesta en los estilos de vida.

Para cerrar el análisis de los recursos energéticos y la emergente transición energética, se señala el ya mencionado impacto ambiental de las fuentes renovables. Como se indicó, hay un inevitable impacto por la ocupación de suelo para la obtención del recurso y la transmisión de la energía (combustible o electricidad), por la generación de residuos en el sitio o en los lugares donde se fabriquen los componentes empleados y por el consumo de agua. Tomando información de Hall et al. (1986), los químicos Juan Vega y Santiago Ramírez (Vega y Ramírez, 2014) y la Administración de Información Energética de Estados Unidos (EIA por sus siglas en inglés, *Energy Information Administration*) (EIA, 2015a), se presentan a continuación algunos de los impactos ambientales de las fuentes renovables.

Las grandes instalaciones solares requieren grandes superficies de terrenos para captar la radiación solar puesto que esta es débil y difusa. Los acumuladores o baterías después de su vida útil producen residuos que pueden ocasionar contaminación si se dejan abandonados a la intemperie porque sus constituyentes son plomo y ácido sulfúrico. La fabricación de celdas (de silicio) de grosores ultradelgados requiere una tecnología que da lugar a cantidades significativas de residuos precisamente de silicio. Además, se usan algunos materiales tóxicos y químicos en el proceso de manufactura de las celdas y algunos sistemas térmicos usan fluidos para transferir calor potencialmente riesgosos. Algo que suele ignorarse es que se necesita agua para la limpieza de los paneles.

Los cultivos para biocombustibles exigen grandes espacios y empleo de abonos. El monocultivo intensivo propicia la aparición de plagas con el consiguiente uso de pesticidas. Además, para lograr el combustible se precisa de una transformación química previa que es compleja y deja residuos. En algunas partes del mundo grandes extensiones de vegetación natural y bosques han sido despejadas y quemadas para cultivar soja y palmas para hacer biodiésel. El impacto negativo será mayor que cualquier beneficio potencial. La combustión produce óxidos de nitrógeno (NO_x). Quemar basura y leña produce contaminación atmosférica (monóxido de carbono y materia particulada) y en el caso de la leña puede ocurrir deforestación si no hay un manejo adecuado. Se debe añadir que la tierra, fertilizantes y energía usada para cultivar biocombustibles se pueden usar para producir alimentos.

Con relación a la energía eólica, suele destacarse el impacto visual y el ruido de los aerogeneradores. También es problemática la interacción con las aves y otras especies voladoras (mortandad). También hay complicaciones debido a la interferencia electromagnética de los aerogeneradores. Debe señalarse asimismo el impacto indirecto por los materiales empleados (concreto, acero, derivados del petróleo).

Los embalses requeridos para la energía hidráulica alteran los ecosistemas naturales, provocan la pérdida o degradación del suelo y alteran el paisaje. En general, pueden obstaculizar la migración de peces y cambiar la temperatura natural del agua, su composición química, las características del flujo del río y la carga de sedimentos.

En la energía geotérmica, los gases no condensables incorporados en el vapor pueden ser liberados a la atmósfera durante el proceso de extracción de la energía térmica (sulfuro de hidrógeno, metano); el amoníaco y compuestos de mercurio y arsénico pueden contaminar aguas subterráneas. Otro problema es la disposición superficial de los fluidos geotérmicos (diversos iones).

Con relación a la generación de electricidad y energía en general, el impacto se presenta por los caminos construidos (uso del suelo) y el agua requerida para limpieza, mantenimiento o enfriamiento. Estas instalaciones comúnmente dependen de combustibles fósiles para su construcción y mantenimiento. Las líneas de transmisión afectan la vegetación.

La intención de señalar estos impactos es aportar información para dejar de ver romántica o ingenuamente a las fuentes renovables. Superar el paradigma ecologista lleva a aceptar que no hay energías “limpias”.

Para tener más elementos para el análisis y cerrar este capítulo, se publican tres tablas. En la Tabla 2, como ya se apuntó, se presentan las fuentes de energía, indicando su durabilidad y disponibilidad económica durante el periodo 2020-2050, su energía específica o densidad de potencia, su energía neta y EROI, su rendimiento de emergencia. En la Tabla 3, se presentan estimaciones del costo normalizado promedio y el costo normalizado evitado promedio, así como el factor de capacidad de generación de electricidad para recursos de nueva generación en 2020, calculados para Estados Unidos. En la Tabla 4, se presentan las fuentes renovables de energía, indicando la fuente, sistemas y subsistemas, su aplicación actual o potencial.

Tabla 2
Fuentes de energía

Recurso energético (estado)	Durabilidad; disponibilidad económica 2020-2050	Energía específica o densidad de potencia	Energía neta; EROI	Rendimiento de emergencia
Petróleo (líquido)	No renovable; baja	46 MJ/kg; 1,000 a 10,000 W/m²	Alta, decreciente; 18:1	~8.4-11.1
Esquistos (sólido)	No renovable; baja	+5 MJ/kg	Baja; 1.5-4:1	
Arenas bituminosas (sólido)	No renovable; baja		3-9:1	
Gas natural (gas)	No renovable; moderada	56 MJ/kg; 800 a 10,000 W/m²	Alta, decreciente; 18:1	6.8-10.3
Carbón (sólido)	No renovable; alta	18 a 30 MJ/kg; 500 a 10,000 W/m²	Alta, decreciente; 70:1	6.8-10.5; planta carboeléctrica 2.5
Uranio (campo)	No renovable; moderada a baja	+80 millones MJ/kg	Moderada a baja; 5-8:1	Planta nuclear 4.5
Celda solar (campo)	Renovable; alta	20 a 60 W/m²	Baja a alta; 3-20:1	0.41
Colector solar (campo)	Renovable; alta	15 a +60 W/m²	Baja	~0.18
Agua corriente (campo)	Renovable; baja	0.1 a 50 W/m²	Moderada a alta; 11.2-267:1	
Viento (campo)	Renovable; moderada a alta	1 a +20 W/m²	Alta; 18.1-24.6:1	2-?
Calor de la tierra (campo)	Renovable; baja		2-39:1	Planta geotérmica 13.0

Recurso energético (estado)	Durabilidad; disponibilidad económica 2020-2050	Energía específica o densidad de potencia	Energía neta; EROI	Rendimiento de energía
<i>Etanol (líquido)</i>	<i>Renovable; moderada a alta</i>	<i>29 MJ/kg</i>	<i>Baja; 0.8-2:1</i>	<i>~1.10</i>
<i>Granos (sólido)</i>	<i>Renovable; alta con manejo adecuado</i>	<i>16 MJ/kg</i>	<i>Variable (según el manejo)</i>	
<i>Leña (sólido)</i>	<i>Renovable; alta con manejo adecuado</i>	<i>18 MJ/kg</i>	<i>Moderada a baja</i>	<i>2.1</i>
<i>Olas/Mareas</i>	<i>Renovable; baja</i>		<i>15:1</i>	<i>Marea (rango de 7.62 m) 15.0</i>

Nota: Elaboración propia con datos de G. Foley (1987), A. Gupta y C. Hall (2011), H. Odum y E. Odum (1981, 2001), D. Reynolds (2002), V. Smil (2008).

Tabla 3
Costo normalizado promedio, costo normalizado evitado promedio y factor de capacidad de generación de electricidad para recursos de nueva generación en 2020 en Estados Unidos

Recurso	Costo normalizado promedio	Costo normalizado evitado promedio	Factor de capacidad
<i>Carbón convencional</i>	<i>95.1</i>	<i>70.9</i>	<i>85</i>
<i>Carbón avanzado</i>	<i>115.7</i>	<i>70.9</i>	<i>85</i>
<i>Carbón con captura y secuestro de carbono (CSC)</i>	<i>144.4</i>	<i>71.0</i>	<i>85</i>
<i>Gas natural, ciclo combinado convencional</i>	<i>75.2</i>	<i>71.4</i>	<i>87</i>
<i>Gas natural, ciclo combinado avanzado</i>	<i>72.6</i>	<i>71.4</i>	<i>87</i>
<i>Gas natural, ciclo combinado avanzado con CSC</i>	<i>100.2</i>	<i>71.4</i>	<i>87</i>
<i>Nuclear avanzada</i>	<i>95.2</i>	<i>72.1</i>	<i>90</i>
<i>Geotérmica</i>	<i>47.8</i>	<i>70.9</i>	<i>92</i>
<i>Biomasa</i>	<i>100.5</i>	<i>71.7</i>	<i>83</i>
<i>Eólica</i>	<i>73.6</i>	<i>64.6</i>	<i>36</i>
<i>Eólica, costa afuera</i>	<i>196.9</i>	<i>71.5</i>	<i>38</i>
<i>Solar fotovoltaica</i>	<i>125.3</i>	<i>80.4</i>	<i>25</i>
<i>Solar térmica</i>	<i>239.7</i>	<i>83.0</i>	<i>20</i>
<i>Hidroeléctrica</i>	<i>83.5</i>	<i>69.5</i>	<i>54</i>

Notas: Costo normalizado = costos de capital, costos de combustible, operaciones fijas y variables, mantenimiento, costos de financiamiento y una tasa de uso para cada planta; Costo normalizado evitado = valor marginal de la energía y la capacidad que resultarían de agregar una unidad de una tecnología dada. Costo = US dólares 2013/MWh, sin subsidios; Factor de capacidad = %. MWh = megavatio-hora. Elaboración propia con datos de Energy Information Administration (2015c).

Tabla 4
Fuentes renovables de energía

Fuente	Sistema	Subsistema	Aplicación actual o potencial
Energía solar	Fotovoltaico	Panel	Edificios, infraestructura
		Celdas de película delgada	Edificios
		Arreglos (múltiples paneles)	Edificios, granjas de energía
	Solar-térmico	Colectores planos	Edificios, granjas de energía
		Colectores parabólicos o de concentración	Infraestructura industrial y comercial, abastecimiento de la red, granjas de energía
		Lentes de Fresnel	Edificios, granjas de energía
		Torre solar	Grandes edificios, abastecimiento urbano
		Torre solar con arreglos múltiples	Granjas de energía
		Calentador de agua	Edificios
		Estanque solar	Sitios remotos
Energía eólica	Aerogenerador	Grandes turbinas	Abastecimiento de la red
		Granjas de viento costa afuera	
		Pequeñas turbinas	Edificios, sitios remotos
		Turbinas de eje vertical	Edificios, granjas de energía
Energía de la biomasa	Combustibles de madera (leña)	Cultivos forestales	Abastecimiento de la red
		Residuos forestales	
		Desechos industriales	
	Agrocombustibles	Cultivos agrícolas seleccionados (bioetanol, biodiésel)	Transporte, cogeneración, abastecimiento de la red
		Residuos agrícolas	
		Desechos de animales	
		Desechos industriales de alimentos	
	Biocombustibles de origen municipal	Incineración de desechos sólidos	Abastecimiento de la red
		Aguas residuales	Transporte, cogeneración
		Desechos enterrados	Transporte, cogeneración, abastecimiento de la red

<i>Fuente</i>	<i>Sistema</i>	<i>Subsistema</i>	<i>Aplicación actual o potencial</i>
<i>Energía hidráulica</i>	<i>Hidroelectricidad</i>	<i>Poder hidráulico convencional</i>	<i>Abastecimiento de la red</i>
		<i>Poder hidráulico mini y micro</i>	<i>Abastecimiento de redes pequeñas, autoabastecimiento</i>
<i>Energía geotérmica</i>	<i>Poder geotérmico</i>		<i>Abastecimiento de la red</i>
<i>Energía marina</i>	<i>Térmica oceánica</i>		
	<i>Energía de las mareas</i>		<i>Abastecimiento de la red, autoabastecimiento</i>
	<i>Energía de las olas</i>	<i>Sistemas fijos</i>	
		<i>Sistemas flotantes</i>	

Nota: Elaboración propia con datos de P. Droege (2006), O. Guillén (2004), G. Mara (1984) y O. Masera (2006).

XII. La paradoja ecológica

No es el impacto ambiental de las energías “limpias” lo que define la *paradoja ecológica*. Considero conveniente, por lo presentado en este libro, retomar este concepto junto con otras reflexiones expuestas en la década de 2000 (Páez, 2002; 2006), las cuales permiten definir el desafío de la transición más allá del paradigma ecologista-catastrofista y entender que una correcta gestión ambiental (limpia, verde, “libre” de carbono) no garantiza la sostenibilidad. Reflexiones revisadas críticamente teniendo en cuenta las crisis económicas, financieras y sociales que han afectado al mundo desde 2008, así como la evolución de los precios del petróleo, las inversiones en proyectos energéticos y la quiebra de algunas empresas de energías renovables.

La ecología nos enseña que las poblaciones no deben exceder la capacidad de carga de los ecosistemas en donde viven: si no hay suficientes alimentos y agua los individuos morirán hasta que la demanda de la población sobreviviente no exceda los recursos existentes y no altere la calidad de los servicios ofrecidos por la naturaleza (Marten, 2001). La especie humana se ha convertido en una anomalía. Hasta la primera mitad del siglo XX la subsistencia humana fue consecuencia de su adecuación a los ciclos naturales, los asentamientos humanos dependían de las zonas rurales, la degradación ambiental era un factor de trastorno o colapso. Pero algo ha cambiado. El dramático crecimiento de la población humana registrado desde 1950 coincide con la degradación ambiental y la destrucción de los ecosistemas a nivel global: multiplicación-expansión humana y ecocidio. ¿Cómo explicar esta *paradoja ecológica*?

Diversos autores han utilizado este concepto para señalar problemas relacionados con la degradación del medio. Para el biólogo Theodore Sperry, una paradoja ecológica se presenta al guardar genes de diferentes especies en zonas urbanas, ya que extensas áreas de la superficie terrestre que en otro tiempo tuvieron un alto nivel de productividad biológica (“océanos de genes”) han sido destruidas: en los días de los bosques, las sabanas y los desiertos no había necesidad de una reserva de genes, la hay ahora que se han levantado en esos ecosistemas ciudades o campos de cultivo (Sperry, 1960).

Para el arquitecto José Fariña, la necesidad de vivir en las periferias de los centros urbanos o en el campo y la simpatía por el medio ambiente, consecuencia en parte de la propaganda, han ocasionado una paradoja ecológica, ya que estos estilos de vida han generado un mayor consumo de suelo y de energía, se ha degradado más el medio ambiente y ha aumentado la necesidad de uso de la naturaleza (por ejemplo, camionetas y automóviles todoterreno llegando a lugares remotos y mayor consumo de libros sobre especies protegidas): la simpatía por el medio ambiente se convierte en una causa importante de su degradación o destrucción (Fariña, 2004).

Para el economista Joseph Huber, la búsqueda de un consumo o una vivienda sostenible es inapropiado ya que esto presenta una paradoja ecológica: el mayor impacto ambiental no ocurre a nivel del consumidor, sino en los niveles primarios de la cadena productiva, donde influyen la tecnología empleada, el diseño y la elaboración de los productos (Huber, 2004).

Un grupo de investigadores encabezados por la geógrafa Ciara Raudsepp-Hearne, hablan de la paradoja del ecologista. Ellos la explican a través de dos hipótesis: i) la producción de alimentos es más crucial para el bienestar humano que otros servicios de los ecosistemas, así, los beneficios obtenidos del aprovisionamiento pesan más que la disminución de otros servicios, ii) la tecnología y la innovación social han desacoplado el bienestar humano de la degradación de los ecosistemas, es decir, no dependemos de ellos directamente o se manejan con más eficiencia (Raudsepp-Hearne et al., 2010).

El problema de la paradoja ecológica va más allá de las reservas de genes, del amor a la naturaleza que termina destruyéndola y de una falsa idea de consumo “sostenible”, es una cuestión más compleja. Tiene que ver con el “desacoplamiento” que plantean Raudsepp-Hearne et al. (2010), sin duda, pero ¿cómo se explica este?

La ecología humana de la civilización contemporánea va más allá de la biología: está asentada en la biosfera, pero depende de la litosfera. La palabra mágica de nuestro tiempo es *sustituibilidad*: procesos productivos basados en seres humanos, animales y herramientas sustituidos por la automatización; recursos y servicios naturales sustituidos por productos sintéticos y máquinas; energía limitada y obtenida con mucha dificultad sustituida por energía abundante y barata. Estos son los pilares de la revolución científico-técnica que ha modificado a nivel mundial los patrones de asentamiento humano, la superficie terrestre y los océanos desde el final de la II Guerra Mundial (Richa, 1971, pp. 11-28). El fundamento de esta revolución, que es lo que explica la paradoja, es el mayor consumo de energía. Posnaturaleza. Salud, educación, vivienda, comunicaciones, transportes, la gestión gubernamental y empresarial, entre otras áreas, alcanzaron nuevas posibilidades y adquirieron nuevas características gracias al carbón y el petróleo. El desarrollo social y el crecimiento económico no encuentran más sus límites en la capacidad de la naturaleza: la sustituibilidad, el ecocidio, la restauración ambiental, la huella ecológica de las sociedades ricas, la complejidad social, la economía global de mercado basada en necesidades artificiales, etc., muestran que el género humano depende de su tecnología (energía transformada) y organizaciones. La sostenibilidad va más allá de la ecología: si la maquinaria trabaja, los asentamientos humanos trabajan.

Cabe anotar que la palabra *sustituibilidad* no aparece en el Diccionario de la lengua española. En el libro *Una sola Tierra*, Ward y Dubos (1972) se refieren en el capítulo IX: “El equilibrio de los recursos”, a un “*principio de sustituibilidad*”: “*nueva capacidad básica de ‘reordenar’ la materia de una amplísima variedad de formas y usos*” (p. 167). Y también señalan sus límites: la complejidad de la tecnología requerida, la escala de la energía a través de la cual se produce la transformación y todos los costos y trastornos ambientales que pueden ocasionar tales transformaciones (p. 168).

Sin embargo, la nueva ecología humana y sus límites no han sido analizados en los años del “calentamiento global”. Gracias al carbón y el petróleo el género humano puede vivir en un mundo posnatural, biológicamente degradado. La sustituibilidad y particularmente el paulatino agotamiento del hidrocarburo presentan nuevas preguntas, ignoradas por el discurso que promueve una nueva visión global: el desarrollo sostenible.

La sociedad global no es una civilización creada a partir de los procesos naturales, sino de sistemas políticos y tecnológicos conformados y elaborados gracias al fácil acceso a los hidrocarburos y el carbón existentes en la corteza terrestre. La reflexión sobre la sostenibilidad debe enriquecer su enfoque biológico/ecologista (la capacidad de carga del planeta) considerando el factor energético neguentrópico (la capacidad de organización y resolución de problemas de un sistema social) y científico-técnico (la capacidad humana de crear productos sintéticos y de regenerar o restaurar la naturaleza). Si bien la degradación ambiental es en buena medida consecuencia del uso del petróleo y el carbón, el mantenimiento de los asentamientos humanos (esto es, de las sociedades, particularmente las urbanas) en la actualidad depende de ellos. Hoy los límites del crecimiento (de la industrialización) no están en el deterioro de la Tierra,

sino en la escasez de los recursos no renovables que ha permitido su expansión. La humanidad sufrirá realmente los efectos del ecocidio (agotamiento de recursos, pérdida de la biodiversidad, contaminación, erosión, degradación) cuando carezca de: i) energía para activar las máquinas que reemplazan los procesos naturales y transfieren, restauran o maquillan los daños ambientales, ii) los elementos que permiten crear productos y alimentos sintéticos, iii) los sistemas políticos que gestionan la resolución de problemas. En caso de que dichos sistemas no reaccionen al respecto.

La principal característica del actual momento histórico es la dependencia humana del petróleo; la sostenibilidad de nuestro patrón civilizatorio está en función del hallazgo de nuevas reservas de este recurso. Si la humanidad ha sido capaz de sobrevivir a pesar de la desaparición de ecosistemas, la sobrepoblación y la degradación ambiental (de superar los límites ecológicos) es gracias, por una parte, a la creación de productos y alimentos sintéticos y a los servicios de salud que ofrecen la petroquímica y la tecnología moderna (subsistencia posnaturaleza) y, por otra, al mayor uso energético que ha permitido encontrar soluciones a los nuevos problemas mediante el aumento de la complejidad social (organización, especialización, diferenciación), respuestas derivadas del intensivo uso del carbón a partir del siglo XIX y del petróleo a partir del siglo XX.

El pico del petróleo nos obliga a enfrentar la *paradoja ecológica*, es decir, el crecimiento exponencial de la especie humana en medios degradados y destruidos o no aptos para la vida por sus condiciones ambientales: el problema de la sustitución de la naturaleza, el reemplazo de la red de especies y servicios naturales por productos y energía derivados del petróleo. Fenómeno señalado por Odum (1971): *“En la medida que el ser humano recibe energías auxiliares de los combustibles fósiles, usa cada vez menos la red de especies naturales, las reemplaza con actividades de su propia sociedad”* (p. 129). Agrega que en el sistema industrial los seres humanos resuelven casi todos sus asuntos con maquinaria activada con combustibles de origen fósil, que en términos metabólicos hacen al hombre una especie gigante, ya que el consumo y los desechos exceden la producción y la capacidad del ambiente para absorberlos (pp. 7, 17-18).

Ahora bien, al complicarse la sustitución de la naturaleza por el encarecimiento y posterior agotamiento del petróleo, la humanidad, considerando el proceso de urbanización y dependencia alimentaria que experimentan la mayoría de las regiones, tendrá que encontrar sustitutos a los productos derivados del petróleo, es decir, reemplazar lo que reemplaza a la naturaleza. Es decir, una sustitución de segunda generación. En la sustitución de primera generación, lo sintético (derivado del petróleo) sustituye la red de especies y servicios naturales, esta es una característica fundamental del siglo XX; en la sustitución de segunda generación, se deberá sustituir lo sintético (derivado del petróleo), este será un problema central del siglo XXI. La pregunta es ¿con qué?

Considerando lo anterior, y más allá de las posturas conservacionistas, toma relevancia el problema de la pérdida de la biodiversidad y la degradación/destrucción de los ecosistemas, incluyendo las aguas y los suelos. No contamos ya con esa red de especies naturales, no contamos con suficientes suelos fértiles y agua pura, no contamos con una base biológica que nos permita, hoy, ir más allá de lo sintético y artificial. Es necesario recrear la naturaleza, sus ciclos. Pero este llamado no responde a una lógica conservacionista *per se*, es un problema económico en su sentido más profundo: de administración y distribución de recursos escasos. Por eso se considera conveniente ir más allá del discurso ecologista-catastrofista, no sólo porque ante el agobio lleva a la inmovilidad, sino porque el problema no es la combustión de petróleo y carbón y la emisión de dióxido de carbono que produce.

También se va más allá del paradigma ecologista dominante porque es demasiado tarde para intentar desarrollar una visión que impida el ecocidio: este ya ocurrió, el mundo ha sido radicalmente modificado, el ser humano colonizó todo el planeta y su expansión destruyó o sometió a las otras especies, contaminó las aguas, mató los suelos, deforestó y erosionó. El desafío ya no es detener la muerte de la naturaleza (voz válida en las décadas de 1960 y 1970), sino regenerarla y desarrollar ciclos y patrones de asentamiento y producción de alimentos y bienes que puedan prescindir de los hidrocarburos y más tarde del carbón en un mundo biológicamente empobrecido. Debemos cambiar nuestra perspectiva: vivimos en

un momento posnaturaleza, ahora dependemos de nuestra capacidad para sustituir lo que ya no existe en abundancia. Esa capacidad será puesta a prueba cuando cada vez sea más complicado usar el petróleo como materia prima y energético por su elevado costo (¿a partir de 2020-2030?) y su agotamiento técnico (¿a partir de 2050 en la mayoría de las regiones?). Definir fechas no es un asunto sencillo, pero se debe manejar un tiempo pensando en la planificación, gestión, ejecución y desarrollo de los proyectos de manera anticipada, esto por los años que requiere la construcción de infraestructura y la restauración o creación de ecosistemas, destacando particularmente la regeneración de suelos, cuerpos de agua y el crecimiento de nuevos bosques y plantaciones forestales.

Más aún, el fin del petróleo y los energéticos baratos obligará a gestionar las políticas sociales y ambientales bajo condiciones económicas adversas; esto tampoco se ha discutido y no forma parte de la lógica ecologista-climática. Por estas razones es insuficiente el discurso del desarrollo sostenible, no aporta una visión para construir una estrategia que permita transitar ordenadamente a una etapa posterior al petróleo y a los combustibles de origen fósil en general.

Dos de los aspectos centrales del debate sobre la sostenibilidad son la capacidad de carga de la Tierra y la capacidad humana para sustituir el capital natural, de esta manera se distinguen dos posturas: la sostenibilidad fuerte y la sostenibilidad débil. La primera indica que el capital natural no puede sustituirse a través de otras formas de capital, que somos muy ignorantes sobre las consecuencias perjudiciales de agotarlo, que su pérdida es a menudo irreversible y que algunas de sus formas proveen funciones básicas para sostener la vida. La segunda, que los recursos son muy abundantes y que los componentes del proceso productivo pueden sustituirse unos por otros, por lo que el progreso técnico puede solucionar cualquier escasez de recursos (Neumayer, 1999).

Más que una postura intelectual, lo que describe la sostenibilidad *débil* es un hecho, más aún, no sólo se sustituyen recursos, se han creado nuevos. Es necesario explicar cómo ha sido posible esto, y es aquí donde debe destacarse la importancia del petróleo y la energía barata: se puede llevar agua a las ciudades de fuentes ubicadas a cientos de kilómetros, producir y distribuir alimentos y materiales sintéticos a escalas jamás imaginadas hace 75 años, prescindir de especies, bosques, ríos y lagos, etc., porque se cuenta con procesos industriales que sustituyen los servicios y recursos que antes se obtenían de la naturaleza o de prácticas humanas estrechamente ligadas con los ciclos naturales. En su afán por frenar el ecocidio, el discurso del desarrollo sostenible no explica cómo ha sido posible sobrevivir en él —no aporta elementos para explicar la *paradoja ecológica*—. Más aún, Naciones Unidas se concentró en construir un discurso que lleva el ecocidio a su máxima manifestación: el calentamiento global apocalíptico de origen humano.

Pensar a largo plazo, excluyendo los beneficios que aporta la sociedad del hidrocarburo, obliga a destacar lo planteado por la sostenibilidad *fuerte*, pero hoy dependemos de los beneficios, de la economía, de la agricultura, de los patrones de asentamiento, de los sistemas energéticos y políticos, etc., derivados de un sistema que responde a la sostenibilidad débil, es decir, a la sustituibilidad basada en el petróleo. Es necesario problematizar la ecología humana considerando la capacidad de carga del planeta, pero también considerar los límites de la sostenibilidad débil: plantear los desafíos relacionados con la transición a una sociedad pospetróleo.

El discurso catastrofista del cambio climático condena el uso de las fuentes no renovables por su impacto ambiental, particularmente, como hemos visto, por la emisión de dióxido de carbono durante la combustión del petróleo y el carbón. A esto hay que agregar el rechazo por la mayor parte de los ecologistas radicales del uso de la energía nuclear. De esta manera, el uso de las fuentes renovables se subraya como una acción prioritaria para el futuro, lo cual, como hemos visto, no está libre de complicaciones.

Se ha comentado la importancia del petróleo no sólo como energético, sino como materia prima utilizada por la petroquímica, base de miles de productos de diversas industrias, entre ellas la alimentaria y la farmacéutica, a lo que se debe agregar también el uso del gas natural. Pues bien, esto no es considerado por el discurso del calentamiento global o el desarrollo sostenible.

El concepto del desarrollo sostenible, como hemos visto, surgió como una respuesta a la creciente degradación de los ecosistemas del planeta, la pérdida de la biodiversidad y el empeoramiento de la calidad de vida en las ciudades. Es una crítica propositiva a los efectos de la industrialización, no plantea terminar con ella, sino transformarla para disminuir o eliminar los daños ecológicos que provoca. Destaca como asuntos prioritarios atender las necesidades esenciales de los más pobres y que seamos conscientes de las limitaciones impuestas por el estado de la tecnología y la organización social sobre la capacidad del ambiente para satisfacer las necesidades presentes y futuras (CMMAD, 1987).

Sus objetivos generales comprenden tres dimensiones: i) crecimiento económico: aumento de la producción y la riqueza, ii) progreso social: reducción de las desigualdades sociales y la discriminación, iii) protección ambiental: mejoramiento de la calidad del medio ambiente y preservación de los recursos naturales y las fuentes de energía para las próximas generaciones (Montibeller-Filho, 2001; Munier, 2005). Algunos documentos consideran una cuarta dimensión, el fortalecimiento institucional: aumentar y consolidar la capacidad de gobernar y la gestión científica y tecnológica (United Nations Division for Sustainable Development, 2006). El desarrollo sostenible se ha transformado en el *leitmotiv* de los discursos políticos, empresariales, académicos y de los movimientos sociales en general (otra razón para considerar al ecologismo como un paradigma dominante).

Sin embargo, el discurso del desarrollo sostenible no analiza los desafíos que se presentarán con el pico del petróleo. De hecho, en lo que respecta a la preservación de las fuentes de energía, que plantea como objetivo, ha sido superado: las futuras generaciones (los que no han nacido aún) ya no utilizarán petróleo para satisfacer sus necesidades. Es un discurso que se elaboró con precios de energía bajos: en el marco económico de referencia (década de 1980) no se habla de escasez de energéticos y su encarecimiento; esto en el futuro, de manera estructural, quedará atrás. El análisis del tratamiento de la cuestión urbana permite explicar y demostrar esto.

Nuestro futuro común marca el inicio de la teorización sobre la ciudad y el desarrollo urbano sostenibles. Si bien en el capítulo IX: “El desafío urbano”, no trata el problema energético de los asentamientos humanos, sí lo considera en el capítulo VII: “Energía: opciones para el medio ambiente y el desarrollo”, en el cual se define el cambio en la orientación del discurso: se plantea la necesidad de disminuir los gases de efecto invernadero (relacionados con el cambio climático) y la contaminación atmosférica en los centros urbano-industriales, no se habla de las constricciones energéticas que movilizaron la búsqueda de alternativas en la década de 1970 y los primeros años de la década de 1980. Se señala al aumento de los precios del petróleo como el origen de las medidas que impulsaron la conservación y la eficiencia energética, pero el nuevo reto que se presenta es generar mecanismos para fomentar el ahorro de energía ante la disminución de los precios del petróleo, ya que la conservación, la eficiencia y la utilización de las fuentes renovables traen consigo beneficios ambientales (CMMAD, 1987).

Así, a partir de este Informe la cuestión urbana se discute desde lo social y la cuestión energética desde lo ambiental, se pierde el esfuerzo teórico que intentó integrar la reflexión urbanística y energética a través de una planificación urbana energéticamente consciente. La cuestión energética dejó de analizarse como un problema en sí mismo, la caída de los precios del petróleo hizo olvidar la finitud de los recursos no renovables y marginó las proyecciones de Hubbert (1956, 1962, 1969).

En *People, Settlements, Environment and Development* (Gente, asentamientos, ambiente y desarrollo) (1991) el entonces Centro de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos - Habitat, (UNCHS, por sus siglas en inglés United Nations Centre for Human Settlements) (hoy Programa) trata la cuestión energética de las ciudades en el capítulo VIII: “Sistemas energéticos sostenibles para los asentamientos humanos”, analizando la utilización de energía por sector, la demanda y los recursos. No considera problemas globales de escasez; las recomendaciones que presenta las plantea a partir de las necesidades ambientales (UNCHS, 1991).

Si bien no subestimo los problemas ambientales relacionados con la producción y el consumo de energía, propongo que se debe analizar la cuestión energética como un problema en sí mismo, no como un subtema ambiental. Tampoco subestimo el valor en términos de gestión ambiental, social, económica

e incluso energética de los documentos preparados por Naciones Unidas, no deben ignorarse las recomendaciones y estrategias que viene planteando desde comienzos de la década de 1970, pero el discurso del desarrollo sostenible (y dentro de él el del calentamiento global) no aporta un marco de análisis para plantear la transición energética que significa el cenit de la producción petrolera, ya que no se discuten:

1. los desafíos que traerá el mayor costo del petróleo y sus derivados,
2. las menores tasas de retorno energético y menores rentas que paulatinamente tendrán y generarán los combustibles de origen fósil en general,
3. la menor calidad energética de las fuentes renovables,
4. los límites tecnológicos aún existentes,
5. que deberá hacerse una inversión descomunal sólo para que las fuentes renovables aporten el 50 % de la energía a escala mundial y se sustituya al petróleo como principal energético para el transporte,
6. se cuente con una base natural y tecnológica que permita sustituir a los productos obtenidos de la petroquímica,
7. los impactos negativos de experimentar una economía en estado estacionario (como sucede a mediados de la década de 2010 en Japón).

Las estrategias que buscan armonizar el crecimiento económico, el progreso social y la protección ambiental deben construirse visualizando un escenario energético-económico diferente al que se experimentó en la segunda mitad del siglo XX, escenario que, a partir de la experiencia histórica dejada por las crisis petroleras de la década de 1970 y las dificultades que desde mediados de la década de 2000 afectan a la economía mundial —y con mayor gravedad a los países menos desarrollados importadores de petróleo—, no debe hacer a un lado términos como inflación, recesión, desempleo, escasez, vulnerabilidad.

La menor capacidad energética que se presentará con la caída de la producción petrolera lleva a pensar que un proceso de simplificación social será inevitable y a la vez conveniente. Esa simplificación deberá planificarse como una estrategia adaptativa que permita la transformabilidad del sistema, no sólo es un asunto de resiliencia. Las políticas públicas y la gestión gubernamental deberán ajustarse a presupuestos menores y evitar, dentro de esto, el derroche: debemos tener la capacidad de ser sostenibles. Esto lleva a poner atención en la dimensión organizacional de la transición: no sólo es un asunto técnico de generación de electricidad con fuentes renovables y aumentar los rendimientos de motores y equipos; es un asunto sociopolítico.

Cuando se reflexiona sobre los grandes desafíos que implica la transición —en términos energéticos, técnicos, materiales, económicos, financieros, sociopolíticos, etc.— es comprensible adoptar una postura pesimista, incluso catastrofista. Anunciar, por el contrario, un futuro “mejor” promoviendo un optimismo tecnológico y una conversión de conciencias, lleva a pensar en una visión más que ingenua.

El futuro será complicado, pero el presente ya lo es y las décadas pasadas lo fueron. Me alejo de los optimistas y parte de la intención de escribir este libro es alejarme de los pesimistas (o apocalípticos). Hay elementos para rechazar las visiones catastrofistas sin caer en la ingenuidad. No es la conciencia ecológica, sino la energética-entrópica la que debe guiarnos: nos permitirá contemplar y analizar el mundo tal cual es y así identificar las posibilidades que ofrece para gestionar la sostenibilidad (resiliencia, transformabilidad) y luchar por un mejor vivir, pero no hacia el 2100 (con 2 °C más... o menos) sino ahora.

Considerar la *paradoja ecológica* lleva a señalar otra limitación teórica del planteamiento del mundo “libre” de carbono: no se debe buscar “eliminar” el consumo de petróleo y carbón por una supuesta contaminación, sino gestionar su paulatina sustitución. No es un asunto de un “efecto invernadero desenfrenado”, sino de rendimientos decrecientes en un mundo degradado. Este es el cambio de enfoque —de paradigma— que obliga a pensar la *paradoja ecológica* junto a la *paradoja de Fagan*.

La gestión de la transición tendrá que hacerse bajo un escenario de crisis. No sólo debido a las condiciones económicas adversas heredadas por las crisis financiera y económica de 2008-2009, sino

por el esperado encarecimiento del petróleo (ya se explicó en el capítulo IX la razón de los precios bajos a mediados de la década de 2010: exceso de oferta y baja demanda... en parte por la crisis) y la baja calidad de las fuentes renovables.

Cabe presentar aquí algunas de las reflexiones expresadas por el economista Héctor Guillén en su libro *Las crisis* (2013), donde hace un análisis de las crisis que afectaron la economía mundial en el siglo XX y también de la que llama “*la primera gran crisis mundial del siglo XXI*”, la de 2008-2009.

Retomando lo dicho por la economista Carlota Pérez, señala que se han presentado cinco revoluciones tecnológicas sucesivas desde 1770: i) la Revolución Industrial, ii) la era del vapor y de los ferrocarriles, iii) la era del acero, la electricidad y la energía pesada, iv) la era del petróleo, el automóvil y la producción en masa, v) la era de la informática y las telecomunicaciones (Guillén, 2013, p. 39):

Así, por ejemplo, la cuarta oleada que corresponde a la era del petróleo, el automóvil y la producción en masa mejor conocida como fordismo, conoce una fase de irrupción de 1908 a 1920 y una fase de frenesí de 1920 a 1929. Tras un intervalo de reacomodo que va de 1929 a 1933 en Europa y de 1929 a 1943 en Estados Unidos, se asiste a una fase de sinergia entre 1943 y 1959 y a una fase de madurez entre 1960 y 1974. De la misma manera, la quinta oleada que corresponde a la era de la informática y las telecomunicaciones conoce una fase de irrupción entre 1971 y 1987 seguida de una fase de frenesí que comienza en 1987 y termina en 2001 con el estallido de la burbuja de Internet en 2001. Actualmente nos encontramos, según Carlota Pérez, en un proceso de recomposición institucional donde se enfrentan aquellos que “miran hacia atrás con nostalgia tratándose de aferrar a las prácticas del pasado y quienes abrazan el nuevo paradigma, proponiendo nuevas instituciones para adecuarse a las nuevas condiciones”. (Guillén, 2013, p. 41).

La gestión de la transición y de la sostenibilidad es afectada y debe adaptarse a este proceso de “recomposición institucional”. Aquí podemos extraer lecciones del amplio estudio de Guillén, esto es, lo que debemos prever: una situación económica mundial donde invertir no será fácil, asunto que no plantean, como ya se ha indicado, los discursos del desarrollo sostenible y el calentamiento global antropógeno. Es necesario insistir en que estos discursos surgieron en un periodo económico de precios bajos del petróleo (mediados de la década de 1980), los países industrializados estaban reponiéndose de los precios caros de la década anterior. Son discursos que no buscan entender esta restricción, discutir escenarios de crisis y diseñar alternativas para ir más allá del petróleo enfrentando precios altos del energético: la gestión de la economía (ciudades, industrias) “libre” de carbono encuentra obstáculos en la falta de financiamiento y las políticas públicas que buscan superar la desaceleración o recesión a través del recorte a los subsidios a las energías renovables. Son estos “obstáculos” los que definen el nuevo paradigma.

Así, no debemos entender la economía “libre” de carbono como una “nueva” *destrucción creadora* (Schumpeter, 1983), ya que esta “creación” será afectada por los recursos energéticos de menor calidad (Reynolds, 2002; Smil, 2010b) y rentas menores (Beaudreau, 1998). No incorporar esto en los análisis puede llevar a diseñar políticas incorrectas.

Un problema que discute con especial interés Guillén (2013) es el impacto que las políticas de austeridad han tenido particularmente en Europa (baja de los salarios nominales, no contrataciones en el gobierno, disminución de prestaciones sociales, aumento del IVA) (p. 419), ya que son destructoras de empleo, cuando lo que debe hacer el Estado, explica siguiendo al economista John Keynes, es gastar más, “*hasta que el sector privado se encuentre en condiciones de retomar su papel motor en la economía*” (p. 117). El problema que surge es que posiblemente no todas las industrias del sector privado tengan la capacidad para impulsar el crecimiento económico o hacerlo a tasas altas. Cabe asimismo preguntar si los gobiernos tendrán esa capacidad, considerando que el encarecimiento de los energéticos también afecta las finanzas públicas.

Ahora bien, Guillén (2013) indica que en este “*capitalismo financiarizado* [...] se observa un notable crecimiento de los inversionistas institucionales: aseguradoras, fondos de fideicomiso, fondos de inversión

colectiva, hedge funds y sobre todo, fondos de pensiones” (p. 292). ¿Esto qué implica? ¿Un cambio de agenda internacional para que se recapitalicen los gobiernos? ¿Mayor regulación?

Uno de los desafíos será asegurar crédito, ya que en esto identifica Guillén (2013) una de las causas de la crisis de 2008-2009: *“la crisis financiera provocó la crisis real pero a su vez esta última retroalimentó la crisis financiera”* (p. 330). En efecto, siguiendo al economista John K. Galbraith señala que *“los factores que provocan los errores repetidos debido a la demencia financiera no han cambiado esencialmente desde la locura de los tulipanes de 1636-1637”* (p. 72):

Los individuos y las instituciones se ven atrapados en la maravillosa satisfacción de ver crecer su fortuna. Al mismo tiempo, eso les da la ilusión de tener poder intelectual, protegida por el prejuicio colectivo que supone que la inteligencia es proporcional al dinero que se posee. La convicción bien afianzada produce la acción: todo mundo se imita para comprar y hace aumentar los precios en el sector inmobiliario, en la Bolsa y más recientemente en el arte. La dinámica del alza conforta al interesado en su elección, le prueba su propia sabiduría y la del grupo. Todo esto continúa hasta la desilusión general y el crac que llega siempre estrepitosamente. (Guillén, 2013, p. 72).

De esta manera, las causas primeras son la especulación, la credulidad financiera y la euforia colectiva: *“todas las crisis financieras siguen poco más o menos el mismo esquema: una innovación inaugura un periodo de euforia que se transforma en una burbuja que termina por estallar”*. Para resolver el problema *“el Estado acude como bombero para apagar el fuego, la confianza regresa y el ciclo puede volver a comenzar”*. Explica que todas las crisis financieras *“tienen por origen una innovación importante”*, esto genera entusiasmo ante la oportunidad de tener rendimientos elevados (Guillén, 2013, p. 73). Sin embargo, un elemento *“esencial”* de toda crisis de este tipo es *“el crédito bancario que financia las colocaciones especulativas [acciones, bienes inmobiliarios, etc.] en los diferentes mercados”*. Así, todo mundo trata de participar en la *“locura especulativa”*, lo que produce la burbuja y así la *“fragilidad creciente de la economía”* (Guillén, 2013, p. 74). Y posteriormente, como política de ajuste, la falta de crédito. Teniendo en cuenta esto, debemos esperar que las innovaciones que surjan durante la transición sean el origen de nuevas especulaciones...

Guillén (2013) señala como *“principales canales de transmisión de la crisis”*, al estudiar el caso de América Latina, *“las reducciones de los precios de los productos, de la demanda externa, de la inversión extranjera directa y de las remesas de los trabajadores migrantes”* (pp. 370-371). Estos son factores que también se deben prever. Más aún, apunta este autor que desde la década de 1980 *“dos tipos de choques exógenos”* han afectado periódicamente a América Latina: *“las interrupciones súbitas de flujos de capital y los choques comerciales”*. Sobre las primeras explica que son *“fenómenos de contagio o decisiones de portafolio para hacer frente a la falta de liquidez de los inversionistas internacionales”*, que provocan *“varios desequilibrios: colapso del producto, deuda pública insostenible, inestabilidad bancaria y financiera, así como conflictos distributivos”* (pp. 374-375); sobre los segundos, señala que pueden ser desencadenados por la *“excesiva especialización comercial”* o *“por algún evento particular (recesión en el país del socio principal, aumento del precio de un insumo clave como el petróleo, aparición de un nuevo competidor, etc.) o por una recesión global”*, en este último caso, el choque se hace sentir de diferentes formas: *“disminución de los términos de intercambio, caída de los volúmenes exportados, disminución de las remesas de los trabajadores migrantes, disminución del turismo y de la inversión extranjera directa particularmente en los países con importantes zonas francas exportadoras”*, lo que trae consigo *“menor saldo de la cuenta corriente, una caída de la inversión y una depreciación real o nominal de moneda local acompañada de deflación”* (p. 375).

Bajo algunas de estas condiciones debe y deberá implementarse la transición. Además de los propios límites técnicos están los límites económicos-financieros que no deben ignorarse. Como se puede leer, no se esboza un apocalipsis en el futuro, sino un mundo en crisis, desde ya, en el presente.

Y debe analizarse si un cambio o relajación de las políticas neoliberales —siguiendo a Guillén (2013): fuerte contracción de gastos públicos y sociales, flexibilización del mercado de trabajo, baja de impuestos, apertura a la competencia, liberalización del mercado de bienes, desregulación de los mercados financieros, así como la apertura de las fronteras a los trabajadores, las mercancías y los capitales sin ninguna armonización fiscal, social y reglamentaria (p. 409)—, actualmente dominantes, permitirá contar con un marco más adecuado para la transición, la cual requerirá un Estado social fuerte para asistir a la gente y a las empresas (y no sólo las grandes) debido a los efectos precisamente de la crisis. Si este cambio es indispensable, la discusión debe plantear cómo hacerlo.

Esto tiene relación con el desarrollo científico y tecnológico que demanda la transición. Señala Guillén (2013) que *“una baja duradera de los flujos de capital reduce lógicamente la tasa de inversión en el aparato productivo, lo que se traduce en dificultades para incorporar la innovación”,* también *“los gastos en educación y en investigación y desarrollo se vuelven insignificantes, lo que impide cualquier aumento de la productividad global de los factores”* (p. 433).

Si no hay gasto en investigación y desarrollo no hay capacidad tecnológica para gestionar la transición. La lección que se obtiene es que deben crearse condiciones que favorezcan la inversión, tanto privada como pública.

La política climática global (desarrollo sostenible) demanda más gasto, sin plantear las crisis (la actual y las futuras por la calidad y los precios de los energéticos). Como ya se comentó, la crisis del petróleo en la década de 1970 afectó la temprana gestión ambiental posterior a la Conferencia de Estocolmo: esto es lo que debe preverse, no un escenario de abundancia de recursos financieros. Es un problema estructural. No será un escenario como el de los años posteriores a la II Guerra Mundial hasta 1973 (la edad de oro del capitalismo); o de recuperación como en la segunda mitad de la década de 1980, la década de 1990 y hasta que el precio del petróleo comenzó a aumentar en 2004-2005 (que lleva a plantear si fue parte del origen de la crisis financiera de 2008). Insisto que esto debe ser parte de la discusión de la transición, no sólo imaginar *ciudades solares*.

Además del análisis de la crisis, Guillén (2013) aporta elementos para analizar la dimensión epistemológica de la economía y cómo este modelo ha influido en la toma de decisiones que van más allá de este campo; factores epistemológicos que influyen en el tratamiento de los problemas y la búsqueda de su solución, me refiero concretamente al peso de los modelos matemáticos y la ignorancia del caos. ¿Es coincidencia la similitud con la cuestión climática? La manera como se construye y plantea el desarrollo sostenible y el cambio climático catastrófico responde a esto. Considerando el domino de los marcos de la teoría económica, hay una transferencia de paradigma: reducir el caos, eliminarlo, el uso de los modelos es consecuencia. Lo que refleja la mezcla entre el paradigma ecologista con la teoría económica que se impuso a partir de la crisis energética. Nos dice Guillén (2013):

Los institucionalistas se apoyan más en datos extraídos de la realidad que en modelos formales abstractos. Para ellos la matemática es sólo un instrumento al servicio de la teoría y no al revés, como ha sido común en la segunda mitad del siglo XX. (p. 33).

¿No habla de esto Singer (2014b) al criticar al IPCC?

Los discursos del desarrollo sostenible y del calentamiento global catastrófico surgieron en la década en que el neoliberalismo comenzó a imponerse como paradigma en Estados Unidos y el Reino Unido. Actualmente el neoliberal gobierno europeo desatiende lo social mientras impulsa estrictas políticas climáticas, reflejando la visión del neoliberal IPCC. Neoliberalismo ecológico, ecodictadura matemática —ya lo percibió por esos años, recordemos, Beck (1999)—.

Y esta ecodictadura matemática impide apreciar el caos. Apunta Guillén (2013):

El crecimiento paralelo de la producción y la demanda global no cambia nada al hecho fundamental de que la economía capitalista es una economía de mercado sujeta, por lo tanto, al azar, la incertidumbre, la inestabilidad, las fluctuaciones cíclicas y las crisis. (p. 101).

Para profundizar en esto cita a Keynes, quien rechaza, nos dice:

la idea de buscar el futuro en el retrovisor a través de previsión matemática. A este respecto señala: “Lo que queremos simplemente recordar es que las decisiones humanas que comprometen el porvenir en el plan personal, público o económico no pueden ser inspiradas por una estricta previsión matemática, ya que la base de tal previsión no existe; el verdadero motor de los negocios es nuestra necesidad innata de actividad, nuestra inteligencia escoge como mejor puede entre las soluciones posibles, calcula cada vez que se puede, pero se encuentra a menudo desarmada frente al capricho, el sentimiento o la suerte”.

Refiriéndose a la incertidumbre del futuro y a la imposibilidad de que aquellos que se consagran a encontrar la información pertinente sobre el porvenir impongan su punto de vista a la finanza y a la economía a través del sistema de precios, Keynes señala: “El hecho notable en la materia es la extrema precariedad de los datos con los cuales estamos obligados a efectuar nuestras evaluaciones de los rendimientos esperados. Nuestro conocimiento de los factores que gobernarán el rendimiento de una inversión algunos años más tarde es en general muy limitado y a menudo despreciable [...] De hecho los que buscan efectuar seriamente tal estimación forman a menudo una minoría tan pequeña que no tienen influencia en el mercado”. (Guillén, 2013, pp. 113-114).

Parece que Keynes hace una descripción de la climatología o de los mercados energéticos. Y así, tenemos que tomar decisiones para crear hoy el futuro.

Un tema que debe tenerse especialmente en cuenta, y que se relaciona con lo expuesto en estas páginas, es la pobreza energética, que merece un tratamiento especial, ya sea porque los individuos, familias o empresas no pueden acceder a los servicios de energía (por ejemplo, calefacción, aire acondicionado, refrigeración) o porque deben destinar una parte mayor de su gasto para acceder a ellos, afectando esto su capacidad de pagar alquiler, cubrir deudas, acceder a otros servicios o ahorrar. La pobreza energética se relaciona directamente con el confort y la movilidad, abriendo así una línea de investigación e instrumentación de políticas que debe atender la arquitectura, el urbanismo y diversas ramas de la ingeniería, además de la economía y las ciencias sociales. Cabe indicar que de este problema no están exentos los países desarrollados, existiendo en la Unión Europea una red académica creada en diciembre de 2011 para estudiar y crear conciencia sobre este fenómeno: la UE Fuel Poverty Network.

El planteamiento de la crisis, la *paradoja ecológica* y la *paradoja de Fagan* llevan a superar el paradigma ecologista, que ignoró la realidad y profundidad del componente energético en su esbozo del futuro apocalíptico.

XIII. Un enfoque postecologista

Es necesario ir más allá de la visión de mundo que ha construido el ecologismo, porque no permite entender y por lo tanto plantear una marco teórico y una estrategia correcta para definir e instrumentar la transición energética que significa el paulatino fin del petróleo, es decir, el paso de un recurso de alta calidad a otros de menor calidad; transición que tomará décadas.

El ecologismo no está libre de imprecisiones, como lo pudimos ver al revisar los discursos climáticos. Muestra de ello es el catastrofismo elaborado a partir del aumento del dióxido de carbono y de la temperatura media global que se registraron en las últimas décadas del siglo XX, calentamiento que se detuvo en los primeros 16 años del siglo XXI a pesar de que el CO₂ continuó subiendo. El ecologismo muestra su debilidad epistemológica en el rechazo a las voces críticas o disidentes, que no carecen de elementos científicos. La intransigencia del IPCC y sus seguidores lleva a pensar más que en un comportamiento histórico (por apocalíptico) en uno ignorante o deliberadamente engañoso, que es peor. En cualquier caso queda mal la ciencia: alimenta la neurosis en vez de intentar explicar lo que sucede.

Seguramente el enfoque que presento aquí no está libre de equivocaciones; la diferencia con el ecologismo radical es que acepto el error como parte de toda empresa humana e intelectual, debido a la imposibilidad de abarcarlo todo, teórica y empíricamente. Espero que la crítica que surja sirva como escalón.

En este capítulo continuaré con la crítica al ecologismo y aportaré elementos que considero deben incorporarse en el análisis y la reflexión sobre el futuro, siguiendo criterios energéticos. Tómense los siguientes apuntes como conclusiones de este libro.

1. La necesidad de ir más allá del catastrofismo ecologista se ejemplifica con algo dicho por Heinberg (2004), ya citado en el capítulo VIII de este libro:

¿Cómo será la vida después de la desaparición de las redes de comunicación (incluyendo la televisión, el radio, los periódicos y las editoriales), el colapso de los sistemas escolares y las bibliotecas —en breve, la desaparición de toda la infraestructura cultural que nos permitió entender nuestro mundo y comunicarnos a través del tiempo y el espacio? (p. 140).

A esto podemos añadirle la visión de Duncan (2001) que piensa que el ser humano regresará a la Edad de Piedra por carecer de combustibles de origen fósil. Sorprende la ignorancia de estos autores: la cultura, o siguiendo a Tainter (1988), los elementos que definen el concepto de civilización (arquitectura monumental, manifestaciones artísticas, literatura, etc.), los sistemas escolares, el entendimiento del mundo y su exploración, alcanzaron niveles elevados en diferentes lugares en diversos periodos antes de que se comenzaran a quemar toneladas de carbón y petróleo. No será la falta de hidrocarburos lo que en todo caso llevará a la pérdida de estos logros, sino la propia demencia humana —que asimismo en diversos lugares y periodos condenó y persiguió al conocimiento—.

2. La visión catastrofista tanto del pico del petróleo como del calentamiento global, principalmente esta última, es una construcción que surge desde la riqueza y el bienestar, no desde la pobreza. Se hace una proyección fatalista del futuro desconociendo o ignorando los problemas y carencias que millones ya sufren en el presente: para esos millones el apocalipsis ya está aquí. Y para los que no somos pobres, pero tampoco somos ricos, vivimos en la incertidumbre constante, sin el porvenir asegurado. El apocalipsis climático y/o energético que temen los ricos se distingue del apocalipsis de los pobres y la clase media porque el de los primeros es una idea, el de los segundos y terceros es angustia o intranquilidad cotidiana. De acuerdo a Toharia (2013):

Conviene decir que la actual crisis económica, que hace ya unos años desencadenó aquel turbio asunto de las hipotecas subprime en Estados Unidos, está haciendo más daño a la economía de los países ricos que lo que preveía Stern a causa del cambio climático para dentro de muchos decenios. (p. 321).

Los catastrofistas como Heinberg o Gore hablan desde la riqueza, lo que es diferente, en palabras del sociólogo Fernando Robles (2000), a la exclusión masificada y la carencia de una acción institucional efectiva, que se presenta en los países del capitalismo periférico —o, llanamente, pobres o subdesarrollados—:

Los que deben vivir en medio de riesgos que son producto de la riqueza además de habitar en medio de riesgos localizados de distinta naturaleza a la de los riesgos de los países desarrollados, son los pobres de la periferia —los excluidos—. Sus peligros locales nada tienen que ver con la posibilidad de formulación de pretensiones contrafácticas ni con la razón emancipatoria, sino que son las aguas servidas, la carencia de alcantarillado, la vivienda desprotegida, la irregularidad y precariedad en las fuentes de ingreso, el temor al mañana, en el cual mejor no se piensa. Además de los riesgos globalizados transnacionales que se dispersan uniformemente por el planeta. (p. 61).

Se contraponen dos maneras radicalmente distintas de construcción de la individualidad, que Robles (2000) sintetiza en dos frases: “Haz de tu vida lo que quieras” y “Arréglatelas como puedas” (p. 68). Es obvio que la lectura que se hace del mundo y sus riesgos es muy diferente.

3. La mirada catastrofista ante el pico del petróleo ha llevado a plantear modelos descentralizados y posturbanos. Duncan (2013) visualiza como alternativas la autosuficiencia y la auto-organización comunitaria (p. 48). Heinberg plantea dos opciones, la primera es la “Corriente cortada” (o Pérdida de energía), que define como:

El camino hacia la cooperación, la conservación y el uso compartido. La única alternativa realista a la competencia por los recursos es una estrategia que requerirá un gran esfuerzo y sacrificio económico con el fin de reducir el consumo per cápita de recursos en los países ricos, desarrollar fuentes alternativas de energía, distribuir los recursos de manera más equitativa y reducir humanamente, pero sistemáticamente, el tamaño de la población humana con el tiempo. (Heinberg, 2004, p. 14).

La otra es “Construir ‘botes salvavidas’”:

El camino de la solidaridad comunitaria y la preservación [...] El supuesto de que la civilización industrial no se puede salvar en algo parecido a su forma actual, y que estamos viviendo ahora mismo en las primeras etapas de la desintegración. Si esto es así, tiene sentido al menos para algunos de nosotros dedicar nuestras energías hacia la preservación de los logros culturales más valiosos de los últimos siglos. (Heinberg, 2004, p. 15).

Señala que contamos con:

el conocimiento y las habilidades necesarias para construir comunidades a pequeña escala, descentralizadas y sostenibles capaces de proporcionar un alto nivel de satisfacción humana y logros culturales mientras sólo degradan con el tiempo en una medida relativamente menor el medio ambiente. (Heinberg, 2004, p. 11).

Fernández y González (2014) consideran que “el nuevo marco civilizatorio” se basará en “un metabolismo agrario, local, de energías renovables y que considerará los límites ambientales” (p. 26):

El nuevo contexto podrá facilitar, a medio plazo, sociedades más igualitarias, justas y sostenibles. Por ejemplo, la relocalización económica y de la organización social, una menor cantidad de energía disponible y que, además, será de origen solar, y una supervivencia que requerirá una fuerte articulación en colectivo. (p. 27).

¿Son viables estas ecotopías a pequeña escala, que denominaré *utopías pequeñas* o *P-topías*?

Un primer aspecto a criticar es pensar que esta nueva ruralidad generará sociedades igualitarias y justas. Al contrario, es probable que la disminución del trabajo mecanizado, en caso de que caiga la generación de electricidad, incremente el trabajo esclavizado o que se hará bajo malas condiciones, como ocurrió antes de la era del petróleo y ocurre ahora en su punto máximo. Es el “lado oscuro” del género humano. Por eso se ha subrayado la necesidad de pensar no sólo en la dimensión tecnológica de la transición, también en la organizacional (social y política).

No obstante, hablar de sociedades igualitarias y justas responde más a un anhelo, que podemos comparar con la idea del “noble salvaje”, que se planteó románticamente como una crítica a la civilización occidental, ya que “no es más que una degeneración de la inocencia y bondad primitivas” (Mason, 2012, p. 216).

Si bien ya se señalaron los límites de las energías renovables, Smil (2010a) hace particularmente una crítica a las también llamadas energías blandas, explicando que no hay algo “*intrínsecamente mal con la pequeñez y la blandura*”, lo que está equivocado es el “*culto ideológico de la escala*” (p. 52), el cual tuvo su origen, atractivo y bienvenida acrítica “*en la revuelta contracultural de finales de la década de 1960 y comienzos de la década de 1970. Este camino inexplorado buscaba una profunda transformación social, no sólo una nueva manera de seguridad energética*” (p. 54). Esa necesidad de transformación social, como he explicado, aún persiste y es un elemento central del ecologismo. Y debido a ella, se han desconocido los límites de las energías blandas y se han hecho “*supuestos irreales, patentes exageraciones y proclamaciones irresponsables*” en beneficio de esos recursos y técnicas (p. 52).

Smil (2010a) señala dos lecciones de la “*falla de las conversiones de la energía blanda*”: i) la búsqueda de cualquier meta energética de largo plazo no debe ser motivada por la ideología, ii) dicha búsqueda no debe elevar una única clase de técnicas o enfoques de gestión (p. 155). Sobre esto profundiza: “*Ninguna opción racional debe ser excluida de la búsqueda a largo plazo de la transformación del suministro energético, ninguna opción debe disfrutar una preferencia a priori*”. Advierte que no se puede esperar que los defensores “*sesgados*” de enfoques particulares “*ofrezcan evaluaciones objetivas de las soluciones*

que promueven”. Cada técnica y proceso, incluso desde sus primeras etapas de comercialización, “debe ser críticamente examinado y cuestionado. Al mismo tiempo, afirmaciones exageradas y pronósticos errados no justifican el encubrimiento de los bajos rendimientos o enfoques equivocados” (p. 155):

La experiencia de la energía blanda demuestra vívidamente que la búsqueda diligente de soluciones energéticas racionales debe estar firmemente fundada en un entendimiento de realidades complejas —comprendiendo los recursos disponibles y los imperativos ingenieriles de las conversiones técnicas y requerimientos de infraestructura—. También debe tomar en cuenta la distribución actual y los patrones de consumo, así como la accesibilidad y confiabilidad de los servicios energéticos deseados —calor, movimiento o luz—. El examen imparcial de estas realidades y requisitos muestra un número significativo de desajustes entre el suministro que puede ser entregado por conversiones pequeñas y descentralizadas —con sus densidades de potencia abrumadoramente bajas, capacidades de las unidades inherentemente limitadas y eficiencias de conversión a menudo debajo de lo óptimo— y la demanda de las modernas áreas urbanas e industriales en general y las megaciudades en particular. (pp. 155-156).

El agotamiento de los combustibles de origen fósil y la necesidad de utilizar energías renovables lleva a muchos a imaginar un futuro descentralizado sin grandes ciudades, de hecho un colapso de lo urbano. Sin embargo, la revisión de la historia de la urbanización, basada en el estudio del historiador Paul Bairoch (1990), invita a pensar que a pesar del menor suministro energético es probable que un número importante de seres humanos seguirá encontrando en los centros urbanos, y no en comunidades rurales o pueblos, a pesar de las incomodidades, el lugar para subsistir.

Así, tomando como límite el año 1750, que marca el comienzo de la Era Industrial, hacia el año 1700 había en el mundo 78 ciudades con 100,000 habitantes o más, siete de ellas con una población de entre 500,000 y 1 millón de habitantes (Bairoch, 1990, p. 399).

En la Tabla 5 se muestran las ciudades que tuvieron 200,000 habitantes o más antes de 1750.

Destacan los casos de Roma (siglo II), Chang'an (siglo VII) y Bagdad (siglo X) que sumaron alrededor de un millón de habitantes o más. Se puede apuntar que estas ciudades son pequeñas en comparación con las grandes áreas metropolitanas del siglo XXI, que suman más de 10 millones de habitantes; lo que debemos notar es que un futuro sin petróleo y carbón no conlleva forzosamente a un patrón de asentamiento humano disperso y sin grandes aglomeraciones. Esas ciudades prepetróleo funcionaron con leña y una organización especial para abastecerse de agua y disponer los residuos.

Ahora bien, supongamos que colapsan las grandes ciudades y las P-topías tendrán que hacerse realidad: requerirán inversión para construirse y gasto constante para mantenerse, así como abastecimiento de agua y manejo de residuos. Las P-topías también tendrán un impacto ambiental, y cobrarán impuestos. Y nada garantiza que entre ellas no surjan conflictos.

Encontramos un antecedente de comunidades autosuficientes prósperas en Europa, durante el Periodo Cálido Medieval (Fagan, 2008, p. 52)...

4. Un autor que nos ayuda a construir una idea de cómo será el futuro de la tecnología es el historiador David Edgerton (2007), quien utiliza la expresión *tecnologías criollas* para referirse a “antiguas” tecnologías del “mundo rico” usadas en el “mundo pobre” (importadas) y la “difusión de invenciones particulares” que suelen ser adaptaciones de las primeras. Por *criollo* entiende algo “sencillo, vernáculo, natural, vulgar o popular, en contraste con el refinamiento de lo metropolitano”; también significa “procedente, aunque diverso, del original, y en ocasiones conlleva la significación de híbrido entre lo que existe en un lugar y lo que llega a este” (p. 71).

Seguramente veremos en los asentamientos pospetróleo una mezcla de lo nuevo con lo viejo y lo criollo, como ahora, pero con un acento especial adaptado al suministro energético de cada localidad en particular.

Tabla 5

Ciudades con 200,000 habitantes o más antes de la Era Industrial

Ciudad	Siglo	Población máxima aproximada
<i>Babilonia</i>	<i>-XVIII</i>	<i>300,000</i>
<i>Cesárea</i>	<i>-I</i>	<i>250,000</i>
<i>Louyang</i>	<i>-I</i>	<i>300,000</i>
<i>Roma</i>	<i>II</i>	<i>+1,000,000</i>
<i>Constantinopla</i>	<i>VI</i>	<i>600,000</i>
<i>Chang'an</i>	<i>VII</i>	<i>1,000,000</i>
<i>Teotihuacan</i>	<i>VIII</i>	<i>200,000</i>
<i>Miyako</i>	<i>IX</i>	<i>300,000</i>
<i>Córdoba</i>	<i>X</i>	<i>500,000</i>
<i>Bagdad</i>	<i>X</i>	<i>1,000,000</i>
<i>Kaifeng</i>	<i>XII</i>	<i>450,000</i>
<i>Hang-cheu</i>	<i>XIII</i>	<i>500,000</i>
<i>El Cairo</i>	<i>XIII</i>	<i>400,000</i>
<i>Fez</i>	<i>XIII</i>	<i>200,000</i>
<i>Beijing</i>	<i>XVI</i>	<i>600,000</i>
<i>Chinchew</i>	<i>XVI</i>	<i>500,000</i>
<i>Vijayanagar</i>	<i>XVI</i>	<i>500,000</i>
<i>Ahmedabad</i>	<i>XVI</i>	<i>400,000</i>
<i>Estambul</i>	<i>XVI</i>	<i>900,000</i>
<i>Agra</i>	<i>XVII</i>	<i>650,000</i>
<i>Delhi</i>	<i>XVII</i>	<i>500,000</i>
<i>Edo</i>	<i>XVIII</i>	<i>500,000</i>
<i>Kioto</i>	<i>XVIII</i>	<i>450,000</i>
<i>Osaka</i>	<i>XVIII</i>	<i>450,000</i>
<i>París</i>	<i>XVIII</i>	<i>560,000</i>
<i>Londres</i>	<i>XVIII</i>	<i>560,000</i>
<i>Nápoles</i>	<i>XVIII</i>	<i>210,000</i>

Nota: Elaboración propia con datos de P. Bairoch (1990).

Edgerton (2007) destaca la innovación que responde a las necesidades concretas de las sociedades pobres, “*capaces de transformar la estructura material del mundo, tal como sucede, por ejemplo, en el caso de las grandes ciudades de chabolas, obra de millones de arquitectos, ingenieros y constructores sin formación alguna*” (p. 249).

También menciona como ejemplo el “*regreso*” de viejas máquinas, objetos y animales en los países de la antigua URSS debido al desplome de la actividad económica posterior al colapso en los primeros años de la década de 1990, ajuste que también experimentó Cuba (Edgerton, 2007, pp. 269-270).

Esta perspectiva lo lleva a cuestionar la función de la tecnología para tener un “correcto entendimiento histórico” de ella:

amén de ayudarnos a huir de la idea de que la invención, “el cambio tecnológico” y la “conformación de la tecnología” deben ocupar un lugar preponderante en su historia. Esta puede ir mucho más allá, y posee la capacidad de ayudarnos a reconsiderar la historia universal. (Edgerton, 2007, p. 273).

Siguiendo esto, es tan trascendente el desarrollo de la energía nuclear como la aplicación de “tecnologías intermedias” que favorezcan la autogestión y el autovalimiento, ya sea en comunidades rurales como en barrios urbanos o periurbanos. Lo pequeño sería hermoso, pero no con un sentido ecológico de escape de la civilización occidental, sino para permanecer y subsistir, es decir, un sentido económico, como lo propuso originalmente el economista Ernst Schumacher (2011) en las décadas de 1960 y 1970.

Las reflexiones de Edgerton (2007) y los desafíos de la transición energética relacionados con la sustitución del petróleo para el transporte, llevan a plantear la necesidad de considerar a los animales (caballos, mulas) como parte de las alternativas, pero no sólo en zonas rurales, sino en las ciudades. Según Smil (2010b), hacia 1850 los animales de tiro suministraron cerca de la mitad de todo el trabajo útil (p. 71). Los modelos de movilidad y transporte sostenible no incluyen a la tracción animal. No es risible imaginar su regreso, quizá para desplazamientos intraurbanos más allá del año 2030 si no se resuelven los problemas de los vehículos eléctricos. Ahora bien, esto sin duda obliga a examinar sus implicaciones: infraestructura, abrevaderos, establos, saneamiento, manejo-reciclaje del estiércol, alimento, etc. No sólo hay que pensar en mejores condiciones para el peatón, ciclovías y trenes.

5. Si la imposibilidad de adquirir autos, camionetas y camiones eléctricos en el futuro lleva a millones de personas en los centros urbanos y las comunidades rurales a desplazarse usando caballos o mulas, la multiplicación de estos animales obligará a reservar hectáreas para la producción de sus alimentos. Si tenemos en cuenta además la superficie que requerirán, el aprovechamiento del sol y el viento, la producción de biomasa y diversos cultivos y plantaciones con fines alimentarios e industriales diversos (recordemos la sustitución de segunda generación debido al encarecimiento y agotamiento de los hidrocarburos), es impostergable darle la importancia que merece a la dimensión *espacial* o *territorial* de la transición —no sólo es tecnológica, financiera y organizacional—.

Una vez más, Smil (2010b) nos aporta información al respecto. Señala que la energía consumida en las áreas urbanas e industriales modernas van de un rango de menos de 10 W/m² en ciudades dispersas en países de bajo ingreso a más de 1,000 W/m² en las megaciudades del siglo XXI:

Este desajuste entre las inherentes bajas densidades de potencia de los flujos de energía renovable y las relativamente altas densidades de potencia de los modernos usos energéticos finales significan que un sistema basado en lo solar requerirá una profunda restructuración espacial con grandes consecuencias ambientales y socioeconómicas. (p. 118).

Esto no es analizado. Se fijan porcentajes mínimos de producción de electricidad con plantas solares fotovoltaicas o térmicas o aerogeneradores o biomasa, sin incorporar el factor espacial o territorial, tanto por el impacto ecológico como por los conflictos políticos y sociales que la ocupación del suelo ya genera o puede generar. ¿Qué es prioritario: destinar las hectáreas que rodean a una ciudad o pueblo para producir energía solar o eólica si es posible, construir vivienda, construir espacios recreativos, crear reservas ecológicas, crear plantaciones forestales o de diversas especies vegetales, producir alimento (para humanos y/o animales), manejar residuos o crear parques industriales? Es necesario incorporar el criterio de *reserva territorial energética* en los marcos jurídicos que definen la planificación territorial, pensando tanto en la intervención de los alrededores, la periferia y en el interior de las ciudades.

6. Pero la administración del territorio también debe considerar la variable meteorológica-climatológica, no como respuesta al supuesto calentamiento global apocalíptico, sino porque el impacto de la temperie —perturbaciones— es inevitable.

Ya se destacaron en el capítulo IV las palabras de Gil y Olcina (1999) alertando sobre las *“inadecuadas actuaciones humanas sobre el territorio”*, debidas tanto a motivos de supervivencia como a intereses económicos que desconocen riesgos naturales, de esta manera acontecimientos atmosféricos extraordinarios se convierten en catástrofes (p. 266).

También deben rescatarse las recomendaciones que García (1981) presentó en *Drought and Man*, donde indica que *“las sociedades para sobreponerse a perturbaciones deben tener mecanismos homeostáticos (estructuras, auto-organización)”*. Señala que:

la evolución del proceso no está determinado por la perturbación en sí, sino por la naturaleza del sistema y las propiedades de la estructura [...] por eso pequeñas perturbaciones pueden causar grandes desviaciones a la estructura [...] La perturbación es amplificada por los mecanismos internos de respuesta. (pp. 175-176).

Explica que las sociedades tienen una vulnerabilidad estructural que nada tiene que ver, por ejemplo, con la vulnerabilidad de los cultivos a las inundaciones o sequías (García, 1981, p. 177):

una sociedad que tiene una estructura socioeconómica de baja vulnerabilidad es un sistema estable en el cual la organización social es tal que ha arraigado mecanismos de respuesta para superar los efectos de sequías breves o prolongadas; de lo contrario, los amplifica. (García, 1981, p. 220).

Concluye García (1981) que hay variabilidad climática en cada lugar, por lo que *“estas fluctuaciones no deben traspasar la resiliencia de las estructuras humanas. Las estructuras humanas deben ser diseñadas para mantener la vulnerabilidad baja pero la productividad alta”* (p. 263).

Como podemos ver, no es el clima el culpable, son las malas decisiones humanas: crecimiento poblacional, falta de infraestructura o de mantenimiento de la existente, ocupación de tierras bajas o cercanas a ríos o zonas susceptibles a deslizamientos o derrumbes, mal manejo del suelo, deforestación, etc.

De hecho, el catastrofista climático Fagan reconoce que la severa sequía del Sahel y la expansión del desierto en las décadas de 1960 y 1970, motivo del estudio de García y que Gore ya relacionó con el calentamiento global, se debió al *“crecimiento descontrolado de la población”* y a la *“degradación de las tierras marginales”* por la actividad humana *“de manera nunca antes vista”* (Fagan, 2010, pp. 273, 276).

Sobre los impactos de la deforestación es necesario profundizar un poco más, ya que algunos de los fenómenos que suelen relacionarse con el “calentamiento global”, el “cambio climático”, el “caos climático” o el “clima extremo” pueden explicarse por la deforestación, no por el aumento del dióxido de carbono. Los bosques son grandes reguladores y protectores, así lo demuestran en un sencillo pero valioso libro titulado *El bosque y la conservación del suelo*, escrito a mediados del siglo XX, el biólogo Helmuth Wagner y el empresario y escritor Hans Lenz. Así, podemos presentar como consecuencias de la deforestación (resumen):

- *debido a la pérdida de la capa vegetal disminuye la absorción y la filtración pluvial, lo que provoca el resecamiento del suelo y la pérdida de manantiales,*
- *aumenta el escurrimiento superficial del agua, que se relaciona con la erosión,*
- *la erosión conduce a la pérdida de ríos, arroyos, lagos, lagunas, presas, debido al azolve depositado,*
- *el azolve provoca inundaciones por la crecida del nivel de los ríos, lagos y lagunas durante lluvias demasiado intensas,*
- *el azolve en las presas afectará con el tiempo la generación de electricidad,*

- *la menor cantidad de árboles disminuye la humedad del ambiente y calienta el aire (o lo mantiene caliente), el cual tiende a subir, elevando las nubes o esparciéndolas, aumentando así la temperatura local, lo que se refleja en temperaturas más extremas,*
- *aumenta la evaporación de los suelos y los cuerpos de agua,*
- *se pierde la biodiversidad, incluyendo a las especies que son reguladoras naturales de plagas.* (Wagner y Lenz, 1989).

Los bosques, apuntan Wagner y Lenz (1989), influyen en la condición hidrológica de una región, teniendo como “enemigos” a los incendios, el pastoreo, los desmontes para la agricultura, plagas y enfermedades y explotaciones exhaustivas.

Además de reforestar para restaurar el ambiente y el ciclo hidrológico, aumentar la biodiversidad, mejorar las condiciones climáticas locales-regionales, evitar la erosión y el azolve, etc., debemos aprovechar la madera (leña) como recurso energético, e incluso buscar la manera de generar carbón vegetal, si la EROI lo permite, ya que su energía específica es alta (alrededor de 32 MJ/kg), mejor que algunos tipos de carbón mineral.

Un “amigo” de los bosques —esto no lo dicen Wagner y Lenz quizá porque para ellos era obvio, pero recordemos el trabajo de Woodwell (1972)— es el CO₂...

7. El deseado estado estacionario de la economía por parte del ecologismo, que busca así disminuir el consumo y el impacto ambiental, es en realidad una contracción que trae como consecuencia, junto con la menor productividad, el desempleo (Beaudreau, 1998). Este estado estacionario será una consecuencia del impacto energético (fuentes de menor calidad), no de una política verde. Más aún, en países pobres el estado estacionario no es conveniente.

Hemos vivido décadas de intensificación energética, el futuro es poco probable que siga siendo así, este es el tema. Todo está estructurado para el crecimiento, incluso el anhelado fin del capitalismo a través de un modelo alternativo o un capitalismo verde requieren al capitalismo para financiarse; el trueque y las aportaciones solidarias no son suficientes. Esto no lo ve o no lo quiere reconocer el ecologismo.

La crisis lleva a la frugalidad, el problema que se plantea es cómo generar vigor económico en un escenario con límites energéticos, cómo resolver los problemas pendientes, relacionados con el gasto social, ambiental, el desarrollo económico y también energético. El desafío no es “detener” a las petroleras, sino garantizar el funcionamiento de los Estados con baja posibilidad de gasto público, pensando en la otorgación de crédito.

8. Es un error definir una estrategia de transición energética prescindiendo del petróleo y el carbón o encareciendo su uso mediante impuestos al “carbono”, debido a los beneficios económicos que se obtienen por su alta calidad energética y rentas de energía. Indudablemente debe controlarse y eliminarse la emisión de gases y partículas contaminantes (dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, etc.), pero ninguno de ellos ha sido condenado como el dióxido de carbono, que es, junto con el vapor de agua, un producto benéfico de la combustión.

Deben aprovecharse las economías de escala que generan los combustibles de origen fósil mientras sea posible, antes de que su encarecimiento las haga inviables. La equivocada política climática-ecologista está anticipando su encarecimiento, es decir, está disminuyendo artificialmente las rentas de energía.

En otras palabras: el petróleo, el carbón y el gas natural deben utilizarse para financiar la transición energética y generar una economía que facilite la inversión; las cumbres internacionales deben concentrarse en esto. El plan debe incluir a la energía nuclear, extremando precauciones.

Recordemos que en tiempos de crisis cae la inversión energética y los subsidios para fuentes no renovables y renovables. El enfoque ecologista demanda subsidios; el enfoque postecologista lleva a incorporar escenarios de crisis y problematiza el beneficio de los subsidios, teniendo en cuenta los límites de las energías renovables.

El abogado Javier Cremades (2013) se pregunta cuál es la opción más acertada: aumentar o no impuestos sobre la energía proveniente de combustibles de origen fósil. Considera que:

Ahogar el consumo de las fuentes tradicionales por vía impositiva, tal y como se ha visto, puede arrojar resultados inesperados, absolutamente contrarios a aquellas finalidades que se pretendían. La subida de precio no implica variaciones significativas en la demanda del producto, dado su carácter esencial. Pero esta elasticidad tiene un límite que sobrepasado dará lugar a situaciones poco comprometidas con el desarrollo sostenible. Al menos mientras las energías alternativas no sean realmente eso, una alternativa real y eficiente. (pp. 158-159).

El aumento de los precios de los energéticos afecta la economía, por tanto exige una relajación de las medidas gubernamentales: si el costo energético es demasiado alto se convierte en un impuesto extra.

9. El reconocimiento del impacto ambiental es parte del enfoque postecologista. La administración del impacto se puede definir también como la administración de la entropía, de la degradación. Es algo inevitable. Lo definió así con la ley de la entropía social el médico y escritor Eduardo Césarman (1982):

El sistema-sociedad es un organismo compuesto por materia social —la que constituye una época posterior en la evolución de la materia inerte y la materia viva— que utiliza y degrada la energía para integrarse, estructurarse y desarrollarse con el propósito de mantener y acrecentar su diferenciación, su desequilibrio, su inestabilidad y su menor probabilidad de ser, en contra de la tendencia del universo a la anarquía, al caos, a la redistribución energética, a la mayor probabilidad: a la entropía máxima. Los fenómenos que acontecen en el sistema-sociedad y su comportamiento se plantean en función del conflicto que existe en la naturaleza en relación al movimiento de la materia viva y de la materia social para negativizar —temporalmente— su entropía, a expensas de la entropía negativa de sus alrededores. Son sistemas que se organizan creando el caos a su alrededor. (p. 10).

Se debe administrar el caos que generamos en nuestros alrededores, no “conservarlos”. Esto es contrario a la ecología profunda y al llamado de muchos eco-activistas, pero ¿hay otra opción en un mundo superpoblado donde el objetivo es el bien-vivir de la mayoría y no el lujo de unos cuantos? No se plantea alterar o destruir ecosistemas (aunque por motivos energéticos esto deberá hacerse), sino aprovecharlos, incluyendo zonas de baja productividad fotosintética, como los desiertos. Es un problema económico: debe entenderse la degradación de los alrededores o de los componentes del entorno como un asunto funcional, su degradación es trascendente (importa) cuando se incorpora al sistema productivo. La sostenibilidad del sistema depende de esto.

La administración de la entropía bajo un enfoque postecologista va más allá de la problematización que se hace de este concepto bajo el ecologismo, que lo entiende como generación de residuos (López, 2006, p. 60; Spier, 2011, p. 253), problema grave, pero que es sólo parte de la creación de ese caos vital. Asimismo, debemos entender a la reforestación como parte de la administración de la entropía, todo el manejo del territorio en sí.

Reitero que debe controlarse el impacto ambiental de la producción de energía (aire, agua, suelos, vegetación, biodiversidad), dándole al CO₂ su justa dimensión. Todas las formas de producir energía tienen un impacto, este debe reconocerse y administrarse. No hay energías “limpias”.

Si el desafío entonces es la administración del territorio y tomar decisiones correctas, se debe evitar que se impongan intereses de grupos específicos, en este caso, los que especulan con el suelo. Una vez más, el desafío no sólo es técnico, sino organizacional.

10. Un enfoque postecologista lo podemos apreciar en la crítica y rechazo que Smil (2010a) hace al etanol siguiendo criterios energéticos, en la recomendación de Curry (2015) para que el tema climático se

trate bajo un marco científico más amplio (lo cual debe reflejarse en otras políticas), en las sugerencias de Cremades (2013) para que se sustituya al petróleo con energía nuclear y carbón y se destinen las subvenciones gubernamentales en el desarrollo tecnológico de las energías renovables, no en su consumo.

Dentro del paradigma ecologista, la energía es un subtema, por eso no se perciben los problemas relacionados con la transición de la alta calidad energética a la baja calidad. La “calidad” se define con una lógica de (falsa) “limpieza”, particularmente atmosférica. También se ignora la importancia de la EROI y se subestiman o desconocen los límites de las energías renovables y la eficiencia energética, dando un salto de optimismo tecnológico futurista.

El ecologismo se hizo política, ecodictadura y de esta manera distopía: no resuelve el día a día, el presente, por inventar un apocalipsis futuro. Y también hay irracionalidad, corrupción, lo que denunció en sus primeros años, cuando era un nuevo paradigma.

Más aún, el ecologismo creció y crece con subsidios, es fruto del crecimiento económico, las políticas ambientales se aplican en momentos de riqueza, no de recesión: se pueden plantear políticas verdes (impuestos, subsidios) porque hay dinero para ello. Se debe aprender de la década de 1970 cuando la crisis económica, fruto del incremento del precio del petróleo, llevó a los gobiernos a ignorar las recomendaciones de la Conferencia de Estocolmo.

Las P-topías pueden resolver en el corto plazo problemas de subsistencia, pero si se plantean como modelo de una nueva civilización también deben considerar cómo resolver los problemas relacionados con la educación, la salud pública, la seguridad social, las comunicaciones, la construcción y mantenimiento de infraestructura, que es lo que se necesita, precisamente, para ser resilientes ante los fenómenos meteorológicos extremos y los cambios climáticos. ¿Pueden ser sostenibles?

Bajo el enfoque postecologista, el reto no es cortar, prohibir, eliminar el “carbono”, sino sustituir a los recursos no renovables por su propia dinámica económica de aprovechamiento y agotamiento, descrita por la ley de rendimientos decrecientes (costos-beneficios).

11. La teoría del calentamiento global antropógeno no resuelve incertidumbres dentro de la climatología: por la falta de datos, por el subjetivo sistema de evaluación científica y la misión del IPCC, por la necesidad de conservar el estatus de los científicos más radicales que la defienden y por la propia historia de la ciencia, ya que lo “normal” es la explicación equivocada, y es equivocada por la falta de elementos durante la observación, lo que se refleja en el modelo explicativo. En este caso, la equivocación se mantiene por los intereses políticos y empresariales que la definen. En otros temas la equivocación suele superarse por la apertura en la discusión.

El IPCC no sigue una lógica *posnormal* (la ciencia en función de la resolución de problemas) (Funtowicz y Ravetz, 1993), sino *poscientífica* (la ciencia en función de intereses que están más allá de la ciencia) (Díaz, 2000), lo que conduce a plantear el fin de la ciencia y el fin de la naturaleza. En el primer caso, es el fin del método científico para explicar lo que acontece, es la imposición del prejuicio en vez de la evidencia; también es la ignorancia o desconocimiento del caos y la evolución y dinámica de los sistemas complejos. Una teoría científica relacionada con el impacto del aumento del CO₂ atmosférico se convirtió en dogma en la década de 1980 y años más tarde en fuente de financiamiento. ¿Quién se beneficia con los subsidios para “mitigar el” o “adaptarse al” cambio climático? ¿Quién sostiene el discurso? Lo que se puede plantear como una guerra contra las petroleras se transformó en una guerra contra el capitalismo; pero lo que no se discute es el destino de la transferencia de recursos que antes iban a las arcas de las *Big Oil*: el capitalismo sigue ahí, pintado de verde, pero en realidad sin sentar las bases de un modelo más justo y solidario.

Sobre el fin de la naturaleza, no me refiero a la pérdida de ecosistemas y extinción de especies que ya discutí como un estado posnatural, sino a la vuelta o permanencia del antropocentrismo: es la actividad humana la que determina todo, las “fuerzas” de la naturaleza son irrelevantes, ahora el ser humano controla el clima. El discurso del cambio climático apocalíptico es el último reducto del antropocentrismo. Pensar que podemos provocar catástrofes planetarias por el aumento de un gas en una proporción

de menos de 0.05 % en la composición atmosférica es reafirmar la debilitada posición central del ser humano en el Cosmos: no gira el Universo en torno a nuestro planeta, no lo hace el Sol, de hecho es un Universo inconmensurable y lo atómico parece inexplicable, pero nosotros, ahora, controlamos el clima de nuestro mundo. En esta destrucción atmosférica y ecológica hay creación, el ser humano se redescubre y sabe poderoso: somos dueños de la atmósfera y la biosfera. Muere la naturaleza porque estamos por encima de ella. El discurso catastrofista da sentido, llena ante la anterior y no superada muerte de Dios y la incertidumbre cosmológica y cuántica. El panteísmo de la ecología profunda se transformó en el antropocentrismo del modelo matemático neoliberal. Por eso no se puede aceptar el cambio climático natural, sería otro giro en la espiral de la descentración del ser humano. La idea del CO₂ y el “efecto invernadero desenfrenado” compensa la angustia que trajo el concepto del caos. Decirnos que podemos *regresar el clima* reconforta, nos hace importantes, incluso amorosos, porque lo hacemos para *salvar* a la Tierra. Y sí, es paradójico: se teme a la destrucción, se repudia a lo que destruye, pero se tiene esa necesidad de Apocalipsis para fundar un mundo nuevo —no ajeno a engaños, desigualdades y dictaduras—.

De la mano con el discurso apocalíptico se ha impuesto como justificación de las políticas climáticas (energéticas y medioambientales, esto es, subsidios, impuestos, regulación excesiva) el *principio de precaución*. Tiene sentido aplicarlo cuando hay certidumbre sobre los posibles riesgos, como es en el caso del control de epidemias, pero con relación al clima hemos visto que hay muchas incertidumbres sobre lo que determina los cambios y se ha exagerado uno de los supuestos. Más aún, este principio de precaución resulta en beneficio de ciertos grupos de interés, que son los que reciben los justificados subsidios.

Esto tiene implicaciones científicas, no sólo por la honestidad de los individuos, sino por el cambio del papel del científico dentro de la sociedad, ya que no son estos los que esbozan un mundo nuevo o mejor, sino un mundo que se destruye. Ya no es la ciencia la base de la construcción del mañana brillante, sino sus aplicaciones traen como consecuencia la destrucción; más aún, la ciencia se presenta como limitada. Queda atrás la visión liberadora del progreso. Sin duda hay avances, pero ¿para quién, a qué costo?

La ciencia pierde su sentido social, pero se reinventa bajo una óptica publicitaria y propagandística y de este modo escenográfica. No es la teoría menos imperfecta lo que se discute, sino cómo asegurar el ya anunciado subsidio. Los modelos, los métodos, las explicaciones se tuercen, determinados a su vez por el marco epistémico. La ideología construye la teoría. El dogma es la llave que permite acceder al reconocimiento, al poder. El “cambio climático” se alejó de la ciencia para convertirse en religión, empresa y espectáculo de terror al mismo tiempo: 2 °C, no lo olviden.

12. En el ecologismo la energía es un subtema, consecuencia en parte de la construcción teórica de la política económica neoclásica, donde la energía no es un elemento central. La crítica de la economía ecológica se concentra en castigar el impacto ambiental, es decir, las consecuencias destructoras de la producción y el consumo de los recursos energéticos; considera el agotamiento de los recursos no renovables, pero no su importancia vital porque “contaminan”, así, se deben evitar.

El enfoque económico-ecológico neoclásico/neoliberal también se expresa en el uso de la matemática: todo se reduce a gráficas, a tendencias, a la proyección. El modelo sobre la realidad, el indicador sobre la realidad, el indicador nos dice lo que queremos leer, no lo que acontece. Indicador que se utiliza para justificar el paradigma, la ciencia, la política y el mundo que se desea.

Profundizar en lo energético lleva a conocer lo que no se puede hacer, a tener en cuenta el componente entrópico. Profundizar en lo climático lleva a conocer el otro discurso, a leer sobre el albedo, el Sol, las nubes y las corrientes oceánicas, a darse cuenta que el dióxido de carbono no es realmente el problema. Lleva a descubrir lo absurdo.

El problema no es el “efecto invernadero”, es la energía, la transición energética: el paso, insisto, de un recurso de alta calidad a otros de menor calidad. Todas las políticas y estrategias públicas y privadas deben considerar su costo energético para ser operativas, funcionales. Siguiendo a Adams (1999): la capacidad de acción estará en función de la disponibilidad energética. La caída actual (mediados de la década de 2010) de los precios del petróleo, el gas natural y el carbón lleva a ignorar la dinámica de los rendimientos decrecientes.

Debemos prever crisis, perturbaciones, conflictos, porque así son la naturaleza y las sociedades humanas. Debemos ser capaces de ser sostenibles y resilientes en lo ecológico, territorial, económico, político... abiertos a la transformación.

13. Una síntesis de este enfoque:

- considera lo energético en sí mismo, no como un subtema de lo ambiental, lo que lleva a señalar la importancia de analizar la energía específica, la EROI, la emergencia de los recursos,
- no es apocalíptico, reconoce y advierte crisis, por lo tanto, hay que tomar medidas para evitarlas o adaptarse a ellas,
- la ocupación del territorio debe hacerse con criterios para evitar riesgos ya que el clima es un fenómeno cambiante y siempre se presentarán fenómenos meteorológicos extremos, con temperaturas globales más cálidas o frías,
- muchos fenómenos y daños que se adjudican al “cambio climático” o “calentamiento global” son consecuencia de la deforestación,
- se debe reforestar como una estrategia climática (impacto local-regional), de sostenibilidad ecológica y económica, explorando la capacidad energética de la leña y sus derivados,
- las alternativas se plantean como estrategias económicas que reconocen sus posibilidades energéticas, límites ecológicos y la ley de rendimientos decrecientes,
- es probable que se presente un estado estacionario sostenido como consecuencia del descenso económico (impacto energético), no como efecto de una política que responde a un deseo,
- tanto la tecnología avanzada o dura como la blanda presentan limitaciones,
- los combustibles fósiles son necesarios para financiar la transición debido a su mayor calidad energética y todavía menores costos y más altas rentas de energía,
- se debe considerar la energía nuclear,
- el impacto ambiental se acepta, es inevitable (no hay energías “limpias”), ante esto debe manejarse el daño, administrar la entropía,
- una política de restauración es fundamental,
- no sólo hay que poner atención en la dimensión técnica de la transición, también en la organizacional (social, política), la económica, la financiera, la territorial o espacial,
- la eficiencia energética no es la solución,
- en el futuro habrá comunidades rurales autosuficientes (P-topías), pero también grandes ciudades,
- en las alternativas de movilidad y transporte pospetróleo hay que considerar la tracción animal,
- los “malos” en la era pospetróleo no serán obviamente las grandes compañías petroleras, sino los grandes desarrolladores inmobiliarios y todos aquellos que especulen con y busquen controlar el recurso suelo,
- a pesar de la corrupción y el “lado oscuro” del ser humano, tenemos la capacidad para organizarnos y buscar alternativas,
- ante los límites de las energías renovables es necesario crear sistemas económicos, políticos y culturales que funcionen con menos energía, debemos disminuir el consumo,
- Naciones Unidas no considera escenarios de crisis y lo que implican en la instrumentación de la transición energética.

14. Teniendo en cuenta que actualmente estamos en un óptimo climático, es decir, un periodo cálido, y que contamos con suficientes recursos energéticos, debemos entender que vivimos un momento extraordinario en la historia de la humanidad. Si se presenta nuevamente en el siglo XXI un periodo frío (otra Pequeña Edad de Hielo, como algunos advierten), la existencia de recursos energéticos de alta calidad lo hará menos dramático.

Este libro surgió como una reacción a las incoherencias, exageraciones e inconsistencias del discurso del calentamiento global causado por las actividades humanas (emisión de CO₂), pero también desde la energética, a partir de la revisión del tema del pico del petróleo y las reflexiones de Tainter sobre el colapso y la sostenibilidad de las sociedades complejas.

Profundizar en lo climático lleva a conocer el otro discurso, el no catastrofista, donde los cambios del clima se explican por la interacción de diversos factores naturales, y a entender que siempre habrá complicaciones relacionadas con fenómenos meteorológicos.

Profundizar en lo energético lleva a conocer y reconocer lo que no se puede hacer económica y técnicamente hablando, a entender el componente entrópico de los sistemas ecológicos, sociales y energéticos. Lleva a sostener que uno de los problemas centrales en el siglo XXI será la energía ante la caída de la producción de los combustibles de origen fósil, particularmente el petróleo: todas las políticas públicas y estrategias empresariales y comunitarias deben considerar su costo energético para ser operativas; lo que podremos hacer en el corto y largo plazo dependerá de la energía disponible —no sólo de nuestra inspiración y voluntad—.

XIV. Bagdad

*Despertó Bagdad ebria, cantando
y regando las rosas del más bello amanecer.*

Nazik Al-Malaika, *El hueco de la ola* (1957)

Una de las tres ciudades anteriores a la Era Industrial que sumó alrededor de un millón de habitantes fue Bagdad, actual capital de Irak. Nació como un campamento militar en el año 762 junto al río Tigris; tres años después allí se instaló el califa Al-Mansur, el asentamiento en poco tiempo alcanzó los 400,000 habitantes. Hacia 850 fue la ciudad más grande del mundo, alcanzando su primer apogeo alrededor de 930, cuando sumó el millón de habitantes. Pero el “*destino tormentoso*” del “Regalo de Dios” (del persa *Bagh*, Dios, y *dâd*, don o donado) se muestra desde temprano, ya que fue varias veces destruida, en parte o totalmente, debido a las invasiones que siguieron las rutas del comercio (Bairoch, 1990, p. 339). En años más próximos fue atacada durante la Guerra Irán-Irak (década de 1980), la Guerra del Golfo (1991) y la Guerra de Irak (2003). Hoy suma cerca de 6.5 millones de habitantes. Irak es un país rico en reservas de petróleo (el quinto a nivel mundial) (EIA, 2015b). Negar que las últimas invasiones que padeció tuvieron como objeto el control de ese recurso sería ingenuo.

Seguramente algunos oficiales o soldados norteamericanos asignados al sur de Texas durante la Guerra México-Estados Unidos (1846-1848) estuvieron en Bagdad o tenían en mente imágenes de pinturas de la ciudad, ya que evocaron el desierto árabe, el río Tigris y la gran ciudad del Medio Oriente al ver una aldea levantada sobre las blancas dunas de arena en el lado sur del río Grande (Bravo), cerca de su desembocadura. Ignorando los nombres que le daban sus pobladores (Boca del Río, La Garita, Cortina) la llamaron *Bagdad*. Y así se conoció a esta localidad tamaulipeca a partir de 1847 o 1848, hasta que desapareció a finales del siglo XIX (González, 2012; ca. 2012).

La villa Bagdad vivió sus mejores años entre 1861 y 1865, con una población de entre 6,000 y 12,000 habitantes, gracias a la Guerra de Secesión en Estados Unidos, ya que el presidente Abraham Lincoln ordenó bloquear los puertos de la Confederación, obligando a esta a establecer su comercio, dependiente en buena medida de la exportación del algodón, por el puerto de Bagdad, que fue considerado en ese periodo uno de los más importantes del mundo por las centenas de embarcaciones que recibía anualmente y donde se podían despachar al mismo tiempo más de una docena de barcos.

El fin de la Guerra de Secesión en 1865, el saqueo de la villa por parte de soldados norteamericanos en enero de 1866 y la construcción del ferrocarril que comunicó Port Isabel con Brownsville en Texas,

que comenzó a operar en 1873, marcaron la decadencia y el ocaso de Bagdad, que también fue determinado por potentes huracanes. En el siglo XIX, según el cronista vitalicio de la Heroica Matamoros, Manuel González, al menos 13 ciclones impactaron la zona (1829, 1830, 1831, 1835, 1837, 1844, 1848, 1867, 1874, 1880, 1881, 1886 y 1889), destacando el de 1867, conocido como “Castigo de Dios”, de cuyos estragos, provocados por la lluvia, los vientos y la crecida del río Bravo, la población no pudo recuperarse por completo. El huracán de 1874 también destruyó decenas de casas e inundó la planicie. El huracán de 1880 trajo más devastación, la tierra arrastrada por el río sepultó los escombros de lo que quedaba, esto llevó al gobierno a declarar al puerto de Bagdad oficialmente inexistente. Ahora bien, algunos barcos continuaron llegando a la boca del río, hasta que los huracanes posteriores cerraron definitivamente su acceso (Álvarez, 1978; González, 2012, ca. 2012; Herrera, 2006, 2010).

En la segunda mitad del siglo XIX la meteorología ya contaba con elementos para explicar los ciclones tropicales, se sabía que no eran “castigos de Dios”, sin embargo, a pesar del avance de esta ciencia y la climatología, la idea del “castigo” estaba (y sigue) presente. Cabe preguntar, siguiendo la teoría catastrófica del calentamiento global causado por el ser humano, cómo explicar que tantos huracanes afectaran el norte del estado de Tamaulipas y el sur de Texas en el siglo XIX, ya que la temperatura promedio global era más baja que la actual y apenas comenzaba la Era del Petróleo, por lo que el porcentaje de CO₂ atmosférico era menor a 300 ppm (0.03 % de la composición atmosférica), muy cercano a los 280 ppm que se registraron hacia 1750, año que marca el final de la anhelada etapa preindustrial. Volvemos a la *paradoja de Fagan*. En lo que va del siglo XXI (2001-2015), no se ha registrado una clara tendencia de aumento de huracanes en el océano Atlántico (ni en el Pacífico) (National Hurricane Center, 2015).

De hecho, con Fagan (2007) también podemos explicar el sentido del “castigo”, la invocación de la divinidad ante la catástrofe:

El comportamiento humano ha sido modelado por una sensación de caprichosa e inexorable ira divina, desde antes de los acontecimientos de la civilización [...] Previamente a los días de la climatología y los registros científicos, se creía que los cambios del clima ocurridos en el breve lapso de la memoria humana eran obra de los dioses. El único recurso humano era el apaciguamiento por medio de la oración, el sacrificio y la construcción de templos. (p. 352).

No hemos cambiado mucho: en vez de templos, se propone construir máquinas e instrumentar procesos de ingeniería para que el clima regrese...

Los dioses siguen ahí, en efecto, pero no son la destrucción en sí: son el caos, lo incierto, el azar, son lo impredecible, lo difícil o imposible de entender. De esta manera surgieron y aún se perciben sus manifestaciones en el patio, no para explicar el origen de los fenómenos, cuya causalidad se entendía y entiende (Pérez, 1998), sino para afrontar la alteración del ciclo o la manifestación más poderosa del fenómeno. Nos dice el antropólogo Fernando Ortiz (1947):

Puede decirse que en todos los continentes los remolinos, trombas, tolvánicas, tornados, tifones y huracanes han sido personificados como entes sobrenaturales poderosos, como dioses, demonios o brujos malignos.

[...] Sin embargo, los vientos no fueron siempre tenidos por espíritus nefarios, pues si ellos causaban estragos en las cosechas y los naufragios también traían las lluvias favorables y movían las naves. (p. 123).

Ese viento llevaba los barcos al puerto de Bagdad, que le tocó ser testigo del paso de los barcos de vela a los barcos de vapor, movidos con carbón, pero no experimentó los beneficios que trajo consigo otro recurso extraído del subsuelo, el petróleo. Durante los años de la decadencia de la villa de Bagdad avanzó considerablemente el desarrollo de la generación de electricidad y de los motores de combustión interna. El progreso y la naturaleza le impidieron llegar al siglo XX, al entonces esperado futuro.

Y pensando en el futuro, ahora temido, al comenzar el siglo XXI el gobierno mexicano construye a 85 km al sur de la boca del río Bravo, en lo que fue un pequeño puerto pesquero, El Mezquital, el puerto de Matamoros, con el objetivo de crear infraestructura para que puedan explotarse los hidrocarburos encontrados en el Cinturón Plegado Perdido (Área Perdido), provincia geológica localizada a unos 220 km de la costa de Tamaulipas en las aguas profundas (ultra profundas) del golfo de México (Peralta y Milenio Digital, 2015; Petróleos Mexicanos, 2013). Es parte de la nueva frontera petrolera que dibuja el fin del petróleo barato, el pico del petróleo.

Del puerto de Bagdad al puerto de Matamoros. Entre la desaparición del primero y el nacimiento del segundo hay más de un siglo de distancia. ¿Cuál será el destino del puerto de Matamoros? ¿Cumplirá su propósito? ¿Su final lo marcará la imposibilidad técnica de extraer a precios rentables hidrocarburos localizados a más de 1,000 o 2,000 metros de profundidad? ¿Se tendrá energía para activar los pozos y mantener a las plataformas, para mover a los buques y los helicópteros relacionados con la producción? ¿El desarrollo de alternativas eficientes a los combustibles de origen fósil hará innecesaria la extracción de esos recursos? ¿O poderosos ciclones dañarán la infraestructura petrolera? ¿Uno o varios huracanes categoría V desaparecerán el nuevo puerto? ¿Podremos predecir con anticipación el origen y la trayectoria de los huracanes que se formarán en el Atlántico y cruzarán el golfo de México, con independencia de las fluctuaciones y cambios del clima? ¿O años de frío intenso por la presencia de un nuevo periodo de temperaturas bajas en el siglo XXI obligarán a quemar más derivados del petróleo, extrayendo el recurso al precio que sea? Y si el apocalipsis climático no ocurre, cuando concluya la Era del Petróleo o cuando no pueda extraerse más petróleo del Área Perdido, quizá hacia 2050-2060, ¿el puerto de Matamoros encontrará en actividades pesqueras, turísticas y comerciales una fuente de ingreso superior o similar a lo que haya aportado el sector energético? ¿O la delincuencia y la corrupción serán la causa de la decadencia del puerto y la región?

Son tantos los factores a tener en cuenta que no es buena idea apostar por sólo una imagen del futuro. Los seguidores del IPCC afirmarían que el aumento del nivel del mar y los huracanes harán que el puerto de Matamoros tenga un destino similar al del puerto de Bagdad. Los que ven el colapso de la civilización occidental con el fin del petróleo encontrarán en El Mezquital del pasado al puerto de Matamoros del futuro: un pueblo de pescadores de menos de 1,000 habitantes.

La lección que nos da el puerto de Bagdad es que los seres humanos somos capaces de grandes logros en respuesta a nuestras necesidades. El territorio que rodea a la boca del río Bravo no es apto para la agricultura, carece de vegetación abundante y árboles, el clima casi todo el año es caluroso y húmedo, es zona de lagunas; pero ahí vivieron miles de personas en una etapa donde no se contaba con los medios de transporte, comunicaciones, productos y servicios que ofrecen la refinación del petróleo y la industria petroquímica. Era un pueblo de madera.

Lo que le dio vida al puerto de Bagdad fue lo que condujo a su fin: el comercio. Comercio que hizo a la Bagdad original tener más de un millón de habitantes en el siglo X y que le permitió recuperarse una y otra vez, con y sin petróleo y a pesar de él. Comercio que nos hará permanecer y, si somos sabios, trascender. Si no hay *condiciones* para producir, no hay comercio. Si no hay nada que producir o si el comercio no es justo, incluyendo las actividades productivas, hay desesperación y por lo general violencia.

El desafío es crear esas condiciones, habitar el patio, ser conscientes de su degradación y del trabajo que requiere repararlo, mantenerlo, hacerlo fértil; ser conscientes de la energía —humana, animal o mecánica— que esto demanda. Habitar el patio nos llevará a percibir y quizá a entender a los dioses que en él se manifiestan. Les pondremos nombres e intentaremos describirlos para anticipar su nueva aparición. Como los indios tepehuanes los aclamaremos. No siempre tendremos suerte.

Referencias

- Abdussamatov, H. (2012). Bicentennial decrease of the total solar irradiance leads to unbalanced thermal budget of the Earth and the Little Ice Age. *Applied Physics Research*, 4(1), 178-184.
- Abelson, P., & Malone, T. (dirs.). (1977). *Energy and climate: Studies in geophysics*. Washington: National Academy of Sciences.
- Adams, R. (1999). La energética. En *Termodinámica de la supervivencia para las ciencias sociales* (pp. 131-159). Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa.
- Adelman, M. (2004). The real oil problem. *Regulation* [Cato Institute], 27(1), 16-21.
- Alba, F. (1997). *Introducción a los energéticos: Pasado, presente y futuro*. Ciudad de México: El Colegio Nacional.
- Allen, T., Tainter, J., & Hoekstra, T. (2003). *Supply-side sustainability*. New York: Columbia University Press.
- Álvarez, R. (dir.). (1978). Bagdad. En *Enciclopedia de México*, 1 (p. 557). Ciudad de México: Enciclopedia de México.
- Appenzeller, T., & Dimick, D. (2004, septiembre). El calentamiento global [Introducción]. *National Geographic*, 15(3), 2-11.
- Ayllón, T. (2003). *Elementos de meteorología y climatología*. Ciudad de México: Trillas.
- Bairoch, P. (1990). *De Jericó a México: Historia de la urbanización*. Ciudad de México: Trillas.
- Barros, V. (2005). *El cambio climático global: ¿Cuántas catástrofes antes de actuar?* Buenos Aires: Libros del Zorzal.
- Beaudreau, B. (1998). *Energy and organization: Growth and distribution reexamined*. Westport: Greenwood.

- Beaudreau, B. (2005). *Energy rents: A scientific theory of income distribution*. Lincoln: iUniverse.
- Beck, U. (1999). *La invención de lo político: Para una teoría de la modernización reflexiva*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Bengtsson, L. (2013). Introduction. *En Towards understanding the climate of Venus: Applications of terrestrial models to our sister planet* (pp. 1-4). ISSI Scientific Report, 11. New York: Springer/International Science Space Institute (ISSI).
- Berthelot, Y. (1998). Conclusiones que pueden extraerse de las experiencias de los países en transición. *En El desarrollo económico y social en los umbrales del siglo XXI* (pp. 362-379). Washington: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Black, J. (1977). *Petróleo*. Ciudad de México: Círculo de Lectores.
- Bolin, B. (1972). El ciclo del carbono. *En La biosfera* (pp. 102-120). Madrid: Alianza/Scientific American.
- Bougher, S., Hunten, D., & Phillips, R. (1997). *Venus II: Geology, geophysics, atmosphere, and solar wind environment*. Tucson: The University of Arizona Press.
- Brooks, C. (1951). Geological and historical aspects of climatic change. *En Compendium of meteorology* (pp. 1004-1018). Boston: American Meteorological Society.
- Callendar, G. (1938). The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 64(275) 223-240.
- Campbell, C. (1997). *The coming oil crisis*. Brentwood: Multi-Science/Petroconsultants.
- Campbell, C., & Laherrère, J. (1998). The end of cheap oil. *Scientific American*, 278(3), 60-65.
- Carson, R. (1962). *Silent spring*. Boston, MA: Houghton Mifflin.
- Centeno, R. (1982). *El petróleo y la crisis mundial: Génesis, evolución y consecuencias del nuevo orden petrolero internacional*. Madrid: Alianza.
- Cereijido, M. (2008). *Por qué no tenemos ciencia*. Ciudad de México: Siglo XXI.
- Césarman, E. (1982). *Hombre y entropía: Termodinámica social*, 2. Ciudad de México: Gernika.
- Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe. (1991). *Nuestra propia agenda sobre desarrollo y medio ambiente*. Ciudad de México: Banco Interamericano de Desarrollo/Fondo de Cultura Económica/Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD). (1987). *Nuestro futuro común*. Nueva York: Naciones Unidas. Recuperado de <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/42/427>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). (1992). Recuperado de http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf

- Cremades, J. (2013). *La energía secuestrada: Desmontando los mitos del fundamentalismo energético*. Madrid: Pearson.
- Curry, J. (2010, 19 de noviembre). Statement to the Subcommittee on Energy and Environment of the United States House of Representatives. *Audiencia sobre Rational Discussion of Climate Change: The Science, the Evidence, the Response*. Recuperado de <https://science.house.gov/sites/republicans.science.house.gov/files/documents/hearings/111710Curry.pdf>
- Curry, J. (2013, 25 de abril). Statement to the Subcommittee on Environment, Committee on Science, Space and Technology of the United States House of Representatives. *Audiencia sobre Policy Relevant Climate Issues in Context*. Recuperado de <https://science.house.gov/sites/republicans.science.house.gov/files/documents/HHRG-113-SY18-WState-JCurry-20130425.pdf>
- Curry, J. (2015, 15 de abril). Statement to the Committee on Science, Space and Technology of the United States House of Representatives. *Audiencia sobre The President's U.N. Climate Pledge*. Recuperado de https://science.house.gov/sites/republicans.science.house.gov/files/documents/HHRG-114-SY-WState-JCurry-20150415_0.pdf
- Dampier, W. (2008). *Historia de la ciencia y sus relaciones con la filosofía y la religión*. Madrid: Tecnos.
- Dawson, C. (2015, 19 de agosto). Canadian oil-sands producers struggle. *The Wall Street Journal*. Recuperado de <http://www.wsj.com/articles/oil-sands-producers-struggle-1440017716>
- Diamond, J. (2005). *Collapse: How societies choose to fail or succeed*. New York: Viking.
- Díaz, E. (2000). El conocimiento como tecnología de poder. En *La posciencia: El conocimiento científico en las postrimerías de la modernidad* (pp. 15-36). Buenos Aires: Editorial Biblos.
- Di Trocchio, F. (2013). *Las mentiras de la ciencia: ¿Por qué y cómo engañan los científicos?* Madrid: Alianza.
- Donahue, T., & Pollack, J. (1983). Origin and evolution of the atmosphere of Venus. En *Venus* (pp. 1003-1036). Tucson: The University of Arizona Press.
- Droege, P. (2006). *Renewable city: A comprehensive guide to an urban revolution*. Chichester: Wiley-Academy.
- Duncan, R. (2001). World energy production, population growth, and the road to the Olduvai Gorge. *Population and Environment*, 22(5), 503-522.
- Duncan, R. (2013). The Olduvai theory: Heading into the gorge. *The Social Contract*, 23(2), 44-49. Recuperado de http://www.thesocialcontract.com/pdf/twentythree-two/tsc_23_2_duncan.pdf
- Edgerton, D. (2007). *Innovación y tradición: Historia de la tecnología moderna*. Barcelona: Crítica.
- Ehrlich, P., Ehrlich, A., & Holdren, J. (1973). *Human ecology: Problems and solutions*. San Francisco: W. H. Freeman.
- Eisfeld, D. (1987). *El genio*. Barcelona: Seix Barral.

- Energy Information Administration (EIA). (2015a). *Energy and the environment explained*. Recuperado de http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=environment_home
- Energy Information Administration (EIA). (2015b). *International energy statistics*. Recuperado de <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=5&pid=57&aid=6>
- Energy Information Administration (EIA). (2015c). *Levelized cost and levelized avoided cost of new generation resources in the Annual Energy Outlook 2015*. Recuperado de http://www.eia.gov/forecasts/aeo/electricity_generation.cfm
- Fagan, B. (2007). *El largo verano: De la Era Glacial a nuestros días*. Barcelona: Gedisa.
- Fagan, B. (2008). *La Pequeña Edad de Hielo: Cómo el clima afectó a la historia de Europa (1300-1850)*. Barcelona: Gedisa.
- Fagan, B. (2009). *El gran calentamiento: Cómo influyó el cambio climático en el apogeo y caída de las civilizaciones*. Barcelona: Gedisa.
- Fagan, B. (2010). *La corriente de El Niño y el destino de las civilizaciones: Inundaciones, hambrunas y emperadores*. Barcelona: Gedisa.
- Fara, P. (2009). *Breve historia de la ciencia*. Madrid: Ariel.
- Fariña, J. (2004). Sostenibilidad y racionalidad de los procesos de urbanización. *Cuadernos de Investigación Urbanística*, 42, 7-12.
- Fernández, R., & González, L. (2014). *En la espiral de la energía, 1: Historia de la humanidad desde el papel de la energía (pero no sólo)*. Madrid/Valencia: Libros en Acción/Baladre. Recuperado de http://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/en-la-espiral-de-la-energia_vol-1.pdf
- Feyerabend, P. (2010). *Tratado contra el método: Esquema de una teoría anarquista del conocimiento*. Madrid: Tecnos.
- Foladori, G. (2007). El pensamiento ambientalista. *Anales de la Educación Común*, 3(8), 42-46.
- Foley, G. (1987). *The energy question*. London: Penguin.
- Friedman, Y. (1977). *Où commence la ville? Etablissements humains et environnement socioculturel*, 6. Paris: Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture.
- Funtowicz, S., & Ravetz, J. (1993). Science for the post-normal age. *Futures* 25(7), 739-755.
- García, R. (1981). *Drought and man: The 1972 case history, 1: Nature pleads not guilty*. Oxford: Pergamon.
- García, R. (2000). *El conocimiento en construcción: De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. Barcelona: Gedisa.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos: Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: Gedisa.

- Garduño, R. (2003). *El veleidoso clima*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica/Secretaría de Educación Pública/Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Georgescu-Roegen, N. (1996). *La ley de la entropía y el proceso económico*. Madrid: Fundación Argentaria/Visor.
- Germanà, M., & Mousoutzanis, A. (2014). Introduction: After the end? En *Apocalyptic discourse in contemporary culture: Post-millennial perspectives on the end of the world* (pp. 1-13). New York: Routledge.
- Gil, A., & Olcina, J. (1999). *Climatología básica*. Barcelona: Ariel.
- González, M. (2012). *Mitos, leyendas y mentiras de la H. Matamoros, Tam., 2*. Matamoros: sin editorial. Recuperado de http://issuu.com/cronistadematamoros/docs/2.41_leyenda_los_tesoros_de_puerto_
- González, M. (ca. 2012). *Historia del puerto de Bagdad, Tamaulipas, México*. Matamoros: sin editorial.
- Gore, A. (1993). *La Tierra en juego: Ecología y conciencia humana*. Buenos Aires: Emecé.
- Guillén, H. (2013). *Las crisis: De la Gran Depresión a la primera gran crisis mundial del siglo XXI*. Ciudad de México: Era.
- Guillén, O. (2004). *Energías renovables: Una perspectiva ingenieril*. Ciudad de México: Trillas.
- Gupta, A., y Hall, C. (2011). A review of the past and current state of EROI. *Sustainability*, 3, 1796-1809. <http://doi.org/10.3390/su3101796>
- Hall, C., Cleveland, C., & Kaufmann, R. (1986). *Energy and resource quality: The ecology of the economic process*. New York: Wiley.
- Harris, M. (1987). *Caníbales y reyes: Los orígenes de las culturas*. Ciudad de México: Alianza.
- Harris, S., & Mix, A. (1999). Pleistocene precipitation balance in the Amazon Basin recorded in deep sea sediments. *Quaternary Research*, 51(1), 14-26.
- Hayes, D. (1977). *Rays of hope: The transition to a post-petroleum world*. New York: Norton.
- Heinberg, R. (2003). *The party's over: Oil, war and the fate of industrial societies*. Gabriola Island: New Society.
- Heinberg, R. (2004). *Powerdown: Options and actions for a post-carbon world*. Gabriola Island: New Society.
- Henbest, N. (1982). *El Universo en explosión*. Madrid: Debate.
- Herrera, O. (2006). *El fuerte Casamata y la construcción histórica de la Heroica, Leal e Invicta Ciudad de Matamoros, Tamaulipas, México*. Ciudad Victoria: Gobierno de Tamaulipas/El Colegio de Tamaulipas.

- Herrera, O. (2010). *Historia de las comunicaciones en Tamaulipas: caminos, puertos, ferrocarriles, aviación*. Ciudad Victoria: Gobierno del Estado de Tamaulipas/Universidad Autónoma de Tamaulipas/Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología/Consejo Tamaulipeco de Ciencia y Tecnología.
- Hobsbawm, E. (1994). *The age of extremes: The short twentieth century, 1914-1991*. New York: Vintage.
- Holling, C. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecological Systems*, 4, 1-23.
- Holsti, O. (1983). El problema mundial de la alimentación y la agricultura soviética. En *Mundo y ecología: Problemas y perspectivas* (pp. 171-201). Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Hubbert, K. (1956). *Nuclear energy and the fossil fuels*. Publication No. 95. Houston: Exploration and Production Research Division–Shell Development Company.
- Hubbert, K. (1962). *Energy resources. A report to the Committee on Natural Resources*. Washington: National Academy of Sciences/National Research Council.
- Hubbert, K. (1969). Energy resources. En *Resources and man: A study and recommendations* (pp. 157-242). San Francisco: W. H. Freeman.
- Huber, J. (2004). Environmental policy shift through technological innovation. En *Governance for industrial transformation. Proceeding of the 2003 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change* (pp. 438-447). Berlin: Environmental Policy Research Centre.
- Hunten, D., Colin, L., Donahue, T., & Moroz, V. (eds.). (1983). *Venus*. Tucson: The University of Arizona Press.
- Idso, C., Idso, S., Carter, R., & Singer, F. (eds.). (2013). *Climate change reconsidered II: Physical science*. Chicago: The Heartland Institute.
- Idso, C., Idso, S., Carter, R., & Singer, F. (eds.). (2014). *Climate change reconsidered II: Biological impacts*. Chicago: The Heartland Institute.
- International Energy Agency (IEA). (2015). *Key world energy statistics*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development/IEA.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Fifth assessment report: 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*. Geneve: IPCC. Recuperado de <http://www.ipcc.ch/report/ar5/index.shtml>
- Jacobs, M. (2014, 7 de marzo). El programa del cambio climático se reactiva. *Project Syndicate*. Recuperado de <http://www.project-syndicate.org/commentary/michael-jacobs-points-to-grounds-for-optimism-that-a-comprehensive-emissions-reduction-plan-can-be-agreed-this-year/spanish>
- Kuhn, T. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.

- Kumar, K. (1998). El apocalipsis, el milenio y la utopía en la actualidad. En *La teoría del apocalipsis y los fines del mundo* (pp. 233-260). Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Lawrence, D. (2008). *Apocalipsis*. Madrid: Cuadernos de Langre.
- López, V. (2006). *Sustentabilidad y desarrollo sustentable: Origen, precisiones conceptuales y metodología operativa*. Ciudad de México: Instituto Politécnico Nacional.
- Lynch, M. (2003). The new pessimism about petroleum resources: Debunking the Hubbert model (and Hubbert modelers). *Minerals and Energy. Raw materials report*, 18(1), 21-32.
- Mara, G. (dir.). (1984). *Renewable energy in cities*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Marten, G. (2001). *Human ecology: Basic concepts for sustainable development*. Londres: Earthscan.
- Masera, O. (coord.). (2006). *La bioenergía en México: Un catalizador del desarrollo sustentable*. Ciudad de México: Comisión Nacional Forestal/Red Mexicana de Bioenergía/Mundi-Prensa.
- Mason, S. (2012). *Historia de las ciencias, 2: Del siglo XVIII al siglo XX*. Madrid: Alianza.
- McNutt, M. (dir.). (2015a). *Climate intervention: Carbon dioxide removal and reliable sequestration*. Washington: National Academies Press.
- McNutt, M. (dir.). (2015b). *Climate intervention: Reflecting sunlight to cool Earth*. Washington: National Academies Press.
- Meadows, D., Meadows, D., Randers, J., & Behrens III, W. (1972). *Los límites del crecimiento: Informe al Club de Roma sobre el predicamento de la humanidad*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Mega, V. (2005). *Sustainable development, energy, and the city: A civilisation of visions and actions*. New York: Springer.
- Milbrath, L. (1984). *Environmentalists: Vanguard for a new society*. Albany: State University of New York Press.
- Milbrath, L. (1989). *Envisioning a sustainable society: Learning our way out*. Albany: State University of New York Press.
- Miller, R., & Sorrell, S. (2014). The future of oil supply. *Philosophical Transactions of The Royal Society A*, 372(2006), 1-27.
- Molina, M. (2010, 12 de noviembre). El cambio climático: ¿mito o realidad? En *Festival La Ciudad de las Ideas*. Puebla. Recuperado de <http://www.ciudaddelasideas.com/videosInt.php?search=&cat=17&ayo=2010&idv=243>
- Montibeller-Filho, G. (2001). *O mito do desenvolvimento sustentável: Meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

- Munier, N. (2005). *Introduction to sustainability: Road to a better future*. Dordrecht: Springer.
- Naciones Unidas. (1973). *Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano. Estocolmo, 5 a 16 de junio de 1972*. Nueva York: Naciones Unidas. Recuperado de <http://www.dipublico.org/conferencias/mediohumano/A-CONF.48-14-REV.1.pdf>
- National Hurricane Center. (2015). *Atlantic/Eastern Pacific hurricane season (1995-2015)*. Recuperado de <http://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/index.php?season>
- National Snow & Ice Data Center (NSIDC). (2015). *Sea ice index*. Recuperado de https://nsidc.org/data/seaice_index/
- Neumayer, E. (1999). *Weak versus strong sustainability: Exploring the limits of two opposing paradigms*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Nierenberg, W. (dir.). (1983). *Changing climate: Report of the Carbon Dioxide Assessment Committee*. Washington: National Academy Press.
- Norris, C. (1998). Versiones del apocalipsis: Kant, Derrida, Foucault. En *La teoría del apocalipsis y los fines del mundo* (pp. 263-290). Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Odell, P. (2000). The global energy market in the long term: The continuing dominance of affordable non-renewable resources. *Energy Exploration & Exploitation*, 18(5), 599-613.
- Odum, H. (1971). *Environment, power, and society*. New York: John Wiley & Sons.
- Odum, H., & Odum, E. (1981). *Energy basis for man and nature*. New York: McGraw-Hill.
- Odum, H., & Odum, E. (2001). *A prosperous way down: Principles and policies*. Boulder: University Press of Colorado.
- Onça, D. (2011). “Quando o sol brilha, eles fogem para o sombra...”: *A ideologia do aquecimento global*. (Tesis doctoral). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas-Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Oort, A. (1972). El ciclo de la energía de la Tierra. En *La biosfera* (pp. 33-53). Madrid: Alianza/Scientific American.
- Ortega, J. (2000). *Los horizontes de la geografía: Teoría de la geografía*. Barcelona: Ariel.
- Ortiz, F. (1947). *El huracán: Su mitología y sus símbolos*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Otaola, J., Mendoza, B., & Pérez, R. (1999). *El Sol y la Tierra: Una relación tormentosa*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Paehlke, R. (1989). *Environmentalism and the future of progressive politics*. New Haven: Yale University Press.

- Páez, A. (2002). *La dimensión sociopolítica del fin del petróleo: Desafíos a la sostenibilidad*. Recuperado de http://www.hubbertpeak.com/mx/paez_desafios_sostenibilidad.pdf
- Páez, A. (2006). Para entender el siglo XXI: El cenit de la producción petrolera, la paradoja ecológica y la rematerialización del mundo. *Scripta Nova*, X(209). Recuperado de <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-209.htm>
- Páez, A. (2009). *Sostenibilidad urbana y transición energética: Un desafío institucional*. (Tesis doctoral). Programa de Maestría y Doctorado en Urbanismo-Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. Recuperado de <http://habitat.aq.upm.es/suyte/oc.pdf>
- Páez, A. (2010). Y después del CO₂ ¿qué?: Una revisión de la construcción social del cambio climático. *Revista Mad*, 22. Recuperado de <http://www.revistamad.uchile.cl/index.php/RMAD/article/viewFile/13636/13908>
- Peralta, C., & *Milenio Digital*. (2015, 17 de septiembre). Pemex ahorrará 168 mdp con puerto de Matamoros. *Milenio*. Recuperado de http://www.milenio.com/region/Pemex-ahorrara-mdp-puerto-Matamoros_0_593340743.html
- Pérez, A. (1998). Los dioses contra el azar versus el azar de los dioses: Las catástrofes ‘naturales’ y los pueblos indígenas. *América Latina Hoy*, 19, 101-109.
- Pérez, J. (2011). *Para entender el cambio climático: Un problema de todos, una responsabilidad de todos*. Ciudad de México: Miguel Ángel Porrúa/Cámara de Diputados, LXI Legislatura.
- Petróleos Mexicanos. (2013). *Provincia petrolera Golfo de México Profundo*. Ciudad de México: Pemex Exploración y Producción. Recuperado de <http://www.cnh.gob.mx/rig/PDF/Cuencas/GOLFO%20DE%20M%C3%89XICO%20PROFUNDO.pdf>
- Piaget, J., & García, R. (1982). *Psicogénesis e historia de la ciencia*. Ciudad de México: Siglo XXI.
- Plass, G. (1956). The carbon dioxide theory of climatic change. *Tellus*, 8(2), 140-154.
- Porrit, J. (1991). *Salvemos la Tierra*. Ciudad de México: Aguilar.
- Potter, T. (1986). Advisory Group on Greenhouse Gases established jointly by WMO, UNEP, and ICSU. *Environmental Conservation*, 13(4), 365.
- Prades, A. (1997). *Energía, tecnología y sociedad*. Madrid: De la Torre.
- Pratt, J. (1983). El ascenso del petróleo: la transición del carbón al petróleo en los Estados Unidos a comienzos del siglo XX. En *Transiciones de las fuentes de energía: Perspectivas a largo plazo*. Buenos Aires: Aragón.
- Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G., Tengö, M., Bennett, E., Holland, T., Benessaiah, K., MacDonald, G., & Pfeifer, L. (2010). Untangling the environmentalist's paradox: Why is human well-being increasing as ecosystem services degrade? *BioScience*, 60(8), 576-589.
- Real Academia Española (RAE). (2014). *Diccionario de la lengua española*. Madrid: RAE.

Reinfeld, F. (1962). *Actualidades en la ciencia*. Ciudad de México: Visión.

Remote Sensing Systems. (2016). *Measurements - Browse air temperatures*. Recuperado de http://data.remss.com/msu/graphics/TLT/time_series/RSS_TS_channel_TLT_Global_Land_And_Sea_v03_3.txt

Revelle, R., & Suess, H. (1957). Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of an increase of atmospheric CO₂ during the past decades. *Tellus*, 9(1), 18-27.

Reynolds, D. (2002). *Scarcity and growth considering oil and energy: An alternative neo-classical view*. Lewiston: The Edwin Mellen Press.

Richa, R. (dir.). (1971). *La civilización en la encrucijada: Implicaciones sociales y humanas de la revolución científicotécnica*. Ciudad de México: Siglo XXI.

Robles, F. (2000). *El desaliento inesperado de la modernidad: Molestias, irritaciones y frutos amargos de la sociedad del riesgo*. Santiago de Chile: RIL editores.

Rowland, C. (1998). "Los que hemos llegado a los fines de los tiempos": Lo apocalíptico y la interpretación del Nuevo Testamento. En *La teoría del apocalipsis y los fines del mundo* (pp. 51-74). Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica. (Trabajo original en inglés publicado en 1995)

Royal Belgian Institute for Space Aeronomy. (2015). *Venus. Water and greenhouse effect*. Recuperado de <http://venus.aeronomie.be/en/venus/water-greenhouse.htm>

Sachs, J. (2010, 5 de marzo). Falsos ataques a la ciencia del clima. *Reforma*, p. 6.

Sachs, J., Sachse, D., Smittenberg, R., Zhang, A., Battisti, D., & Golubic, S. (2009). Southward movement of the Pacific Intertropical Convergence Zone AD 1400-1850. *Nature Geoscience*, 2(7), 519-525.

Sagan, C. (1982). *Cosmos*. Ciudad de México: Planeta.

Sagan, C. (1995). *Un punto azul pálido: Una visión del futuro humano en el espacio*. Barcelona: Planeta.

Sagan, C. (1997a). *El mundo y sus demonios: La ciencia como una luz en la oscuridad*. Barcelona: Planeta.

Sagan, C. (1997b). *Billions and billions: Thoughts on Life and death at the brink of the millennium*. New York: Ballantine Books.

Sarukhán, J. (2012, 20 de enero). Des-educación y cambio climático. *El Universal*. Recuperado de <http://www.eluniversalmas.com.mx/editoriales/2012/01/56709.php>

Schelling, T. (1983). Climatic change: Implications for welfare and policy. En *Changing climate: Report of the Carbon Dioxide Assessment Committee* (pp. 449-482). Washington: National Academy Press.

Schifter, I. (1996). *La ciencia del caos*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.

Schumacher, E. (2011). *Lo pequeño es hermoso*. Madrid: Akal.

- Schumpeter, J. (1983). *Capitalismo, socialismo y democracia*. Barcelona: Orbis.
- Seidel, S., & Keyes, D. (1983). *Can we delay a greenhouse warming?: The effectiveness and feasibility of options to slow a build-up of carbon dioxide in the atmosphere*. Washington: Environmental Protection Agency.
- Shepherd, J. (dir.). (2009). *Geoengineering the climate: Science, governance and uncertainty*. London: The Royal Society.
- Shermer, M. (2009). *Por qué creemos en cosas raras: Pseudociencia, superstición y otras confusiones de nuestro tiempo*. Barcelona: Alba.
- Singer, F. (1972). La producción humana de energía como un proceso en la biosfera. En *La biosfera* (pp. 219-241). Madrid: Alianza/Scientific American.
- Singer, F. (2014a, 27 de marzo). The coming paradigm shift on climate. *American Thinker*. Recuperado de http://www.americanthinker.com/2014/03/the_coming_paradigm_shift_on_climate_.html
- Singer, F. (2014b, 15 de agosto). Climate science does not support IPCC conclusions. *American Thinker*. Recuperado de http://www.americanthinker.com/2014/08/climate_science_does_not_support_ipcc_conclusions.html
- Singer, F. (2014c, 29 de diciembre). Cause of pause in global warming. *American Thinker*. Recuperado de http://www.americanthinker.com/articles/2014/12/cause_of_pause_in_global_warming.html
- Singer, F. (2015, 31 de julio). A paradigm change: re-directing public concern from global warming to global cooling. *American Thinker*. Recuperado de http://www.americanthinker.com/articles/2015/07/a_paradigm_change_redirecting_public_concern_from_global_warming_to_global_cooling.html
- Smagorinsky, J. (1977). Modeling and predictability. En *Energy and climate: Studies in geophysics* (pp. 133-139). Washington: National Academy of Sciences.
- Smagorinsky, J. (1981). Some thoughts on contemporary global climatic variability. En *Drought and man: The 1972 case history, 1: Nature pleads not guilty* (pp. 265-295). Oxford: Pergamon.
- Smil, V. (1994). *Energy in world history*. Boulder: Westview.
- Smil, V. (2006). Peak oil: A catastrophist cult and complex realities. *World Watch*, 9(1), 22-24.
- Smil, V. (2008). *Energy in nature and society: General energetics of complex systems*. Cambridge: The Massachusetts Institute of Technology Press.
- Smil, V. (2010a). *Energy myths and realities*. Washington: AEI Press.
- Smil, V. (2010b). *Energy transitions: History, requirements, prospects*. Santa Barbara: Praeger.
- Spencer, R. (2008). *Climate confusion: How global warming hysteria leads to bad science, pandering politicians and misguided policies that hurt the poor*. New York: Encounter.

- Spencer, R. (2012). *The great global warming blunder: How mother nature fooled the world's top climate scientists*. New York: Encounter.
- Sperry, T. (1960). An ecological paradox. *Transactions of the Kansas Academy of Science*, 63(4), 215-227.
- Spier, F. (2011). *El lugar del hombre en el Cosmos: La Gran Historia y el futuro de la humanidad*. Barcelona: Crítica.
- Stern, N. (2007). *El Informe Stern: La verdad sobre el cambio climático*. Barcelona: Paidós.
- Strauss, W., & Mainwaring, S. (1990). *Contaminación del aire: Causas, efectos y soluciones*. Ciudad de México: Trillas.
- Suomi, V. (dir.). (1979). *Carbon dioxide and climate: A scientific assessment*. Washington: National Academy of Sciences.
- Tainter, J. (1988). *The collapse of complex societies*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tainter, J. (1996). Complexity, problem solving, and sustainable societies. En *Getting down to Earth: Practical applications of ecological economics* (pp. 61-76). Washington: Island Press.
- Tainter, J. (2000). Problem solving: Complexity, history, sustainability. *Population and Environment*, 22(1), 3-41.
- Tainter, J. (2006). Social complexity and sustainability. *Ecological Complexity*, 3(2), 91-103.
- Tainter, J., Allen, T., & Hoekstra, T. (2006). Energy transformations and post-normal science. *Energy*, 31(1), 44-58.
- The Nobel Foundation. (2007). *The Nobel Peace Prize 2007*. Recuperado de http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/peace/laureates/2007/
- Toharia, M. (2013). *El libro del tiempo*. Barcelona: Crítica.
- Tommasino, H., & Foladori, G. (2001). (In)certezas sobre la crisis ambiental. *Ambiente & Sociedade*, 8. <http://doi.org/10.1590/S1414-753X2001000800004>
- Tully, A. (2015, 1 de diciembre). How will the OPEC meeting affect oil prices? *OilPrice.com*. Recuperado de <http://oilprice.com/Latest-Energy-News/World-News/How-Will-The-OPEC-Meeting-Affect-Oil-Prices.html>
- United Nations Centre for Human Settlements – Habitat (UNCHS). (1991). *People, settlements, environment and development: Improving the living environment for a sustainable future*. Nairobi: UNCHS.
- United Nations Division for Sustainable Development (UNDSD). (2006). *Revising indicators of sustainable development: Status and options*. New York: UNDSD.
- Vega, J., & Ramírez, S. (2014). *Fuentes de energía, renovables y no renovables: Aplicaciones*. Ciudad de México: Alfaomega.

- Velasco, V., Mendoza, B., & Velasco, G. (2015). Reconstruction and prediction of the total solar irradiance: From the Medieval Warm Period to the 21st century. *New Astronomy*, 34(enero), 221-233.
- Wagner, H., & Lenz, H. (1989). *El bosque y la conservación del suelo: Su importancia social y económica*. Ciudad de México: Miguel Ángel Porrúa.
- Walker, B., Holling, C., Carpenter, S., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2). Recuperado de <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5>
- Ward, B., & Dubos, R. (1972). *Una sola Tierra: El cuidado y conservación de un pequeño planeta*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- White, L. (1959). *The evolution of culture: The development of civilization to the fall of Rome*. New York: McGraw-Hill.
- Woodwell, G. (1972). El ciclo de la energía de la biosfera. En *La biosfera* (pp. 54-79). Madrid: Alianza/Scientific American.
- Yergin, D. (2005, 31 de julio). It's not the end of the oil age. *Washington Post*. Recuperado de <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2005/07/29/AR2005072901672.html>
- Yoffee, N., & Cowgill, G. (eds.). (1988). *The collapse of ancient states and civilizations*. Tucson: The University of Arizona Press.
- Youngson, R. (2003). *¡Fiasco!: Aprendiendo de los errores de la ciencia*. Barcelona: Robinbook.

Abreviaturas

AGGG	Advisory Group on Greenhouse Gases
cal	caloría
CFC	clorofluorocarbonos
CIUC	Consejo Internacional para la Ciencia
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CMMAD	Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo
CO ₂	dióxido de carbono
COP	Conferencia de las Partes
EIA	Energy Information Administration
ENSO	El Niño-Southern oscillation
EROI	energy return on investment
H ₂ O	agua
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kcal	kilocaloría

kg	kilogramo
km	kilómetro o kilómetros
m ²	metro cuadrado
Mbd	millones de barriles diarios
MJ	megajoule
MW	megawatt
NIPCC	Nongovernmental International Panel on Climate Change
NIPCO	Compañía Petrolera Internacional Northcutt
NSIDC	National Snow & Ice Data Center
OAN	Oscilación del Atlántico Norte
OMM	Organización Meteorológica Mundial
OPEP	Organización de Países Exportadores de Petróleo
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
ppm	partes por millón
RDA	República Democrática Alemana
RFA	República Federal Alemana
URSS	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas
W	watt
ZCIT	zona de convergencia intertropical
°C	grado Celsius
°K	grado Kelvin

Listado de Tablas y Figuras

Tabla 1. <i>Eras o modelos energéticos</i>	127
Tabla 2. <i>Fuentes de energía</i>	139
Tabla 3. <i>Costo normalizado promedio, costo normalizado evitado promedio y factor de capacidad de generación de electricidad para recursos de nueva generación en 2020 en Estados Unidos</i>	140
Tabla 4. <i>Fuentes renovables de energía</i>	141
Tabla 5. <i>Ciudades con 200,000 habitantes o más antes de la Era Industrial</i>	157
Gráfica 1. <i>Temperatura media global</i>	50
Gráfica 2. <i>Suministro de energía primaria (2013)</i>	125
Gráfica 3. <i>Generación de electricidad por combustible (2013)</i>	126

Anexos

Anexo 1

Afirmaciones más relevantes del “Resumen para responsables de políticas” del *Quinto Informe de Evaluación* del IPCC (2014):

Cambios observados y sus causas

La influencia humana en el sistema climático es clara y las emisiones antropógenas recientes de gases de efecto invernadero son las más altas de la historia. Los cambios climáticos recientes han tenido impactos generalizados sobre los sistemas humanos y naturales. (p. 2).

El calentamiento del sistema climático es inequívoco y desde la década de 1950 muchos de los cambios observados no han tenido precedentes desde décadas hasta milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, las cantidades de nieve y hielo han disminuido y el nivel del mar ha aumentado. (p. 2).

Las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero se han incrementado desde la era preindustrial, impulsadas en gran medida por el crecimiento económico y poblacional y son ahora más altas que nunca. Esto ha conducido a concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso que no tienen precedente en al menos los últimos 800,000 años. Sus efectos, junto con los de otras causas antropógenas, han sido detectados en todo el sistema climático y es muy probable que han sido la principal causa del calentamiento observado desde mediados del siglo XX. (p. 4).

En las décadas recientes, los cambios en el clima han provocado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y a través de los océanos. Los impactos son debidos al cambio climático observado, independientemente de su causa, indicando la sensibilidad de los sistemas naturales y humanos al clima cambiante. (p. 6).

Se han observado cambios en muchos tiempos extremos y episodios climáticos desde aproximadamente 1950. Algunos de estos cambios han sido ligados a la influencia humana, incluyendo un descenso del frío extremo, un incremento en el calor extremo, un incremento en los extremos superiores del nivel del mar y un incremento en el número de episodios de fuertes precipitaciones en numerosas regiones. (p. 7).

Cambios climáticos futuros, riesgos e impactos

La emisión continua de gases de efecto invernadero causará más calentamiento y cambios de larga duración en todos los componentes del sistema climático, incrementando la probabilidad de impactos severos, omnipresentes e irreversibles en la gente y los ecosistemas. Limitar el cambio climático requeriría reducciones sustanciales y sostenidas de la emisión de gases de efecto invernadero, las cuales, junto con la adaptación, pueden limitar los riesgos del cambio climático. (p. 8).

Las emisiones acumuladas de dióxido de carbono determinarán en gran medida el calentamiento medio de la superficie global para el final del siglo XXI y más allá. Las proyecciones de las emisiones de gases de efecto invernadero varían en un amplio rango, dependiendo tanto del desarrollo socioeconómico como de la política climática. (p. 8).

Se proyecta un aumento de la temperatura de la superficie en el siglo XXI bajo todos los escenarios de emisiones evaluados. Es muy probable que las ondas de calor ocurran más seguido y duren más y que los episodios de precipitación extremos sean más intensos y frecuentes en muchas regiones. El océano continuará calentándose y acidificándose y el nivel medio del mar subiendo. (p. 10).

El cambio climático amplificará los riesgos existentes y creará nuevos para los sistemas naturales y humanos. Los riesgos son distribuidos de manera desigual y son generalmente mayores para gente y comunidades en desventaja en países de todos los niveles de desarrollo. (p. 13).

Muchos aspectos del cambio climático y sus impactos asociados continuarán por siglos, incluso si las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero son detenidas. Los riesgos de cambios abruptos o irreversibles se incrementan en la medida que la magnitud del calentamiento lo hace. (p. 16).

Vías futuras para la adaptación, la mitigación y el desarrollo sostenible

La adaptación y la mitigación son estrategias complementarias para reducir y manejar los riesgos del cambio climático. La reducción sustancial de emisiones en las próximas décadas puede reducir los riesgos climáticos en el siglo XXI y más allá, aumentar perspectivas para una adaptación efectiva, reducir costos y desafíos de la mitigación en el largo plazo y contribuir a vías climáticas resilientes para el desarrollo sostenible. (p. 17).

La toma eficaz de decisiones para limitar el cambio climático y sus efectos puede recibir información mediante un amplio rango de enfoques analíticos para evaluar los riesgos y beneficios esperados, reconociendo la importancia de la gobernabilidad, las dimensiones éticas, la equidad, los juicios de valor, las evaluaciones económicas y diversas percepciones y respuestas al riesgo y la incertidumbre. (p. 17).

Sin esfuerzos adicionales de mitigación más allá de los existentes hoy, el calentamiento para el final del siglo XXI conducirá de un alto a un muy alto riesgo de impactos globales severos, generalizados e irreversibles (alta certidumbre). La mitigación implica un nivel de co-beneficios y de riesgos debido a efectos colaterales adversos, pero estos riesgos no implican la misma posibilidad de impactos severos, generalizados e irreversibles como los riesgos del cambio climático, incrementando los beneficios de los esfuerzos de la mitigación en el corto plazo. (p. 17).

La adaptación puede reducir los riesgos de los impactos del cambio climático, pero hay límites para su efectividad, especialmente con magnitudes y tasas más grandes de cambio climático. Tomando una perspectiva de largo plazo, en el contexto de desarrollo sostenible, se incrementa la posibilidad de que más acciones de adaptación inmediatas también mejorarán las opciones y la preparación para el futuro. (p. 19).

Hay múltiples vías de mitigación que podrían limitar el calentamiento debajo de 2 °C en relación con los niveles preindustriales. Estas vías requerirían una sustancial reducción de las emisiones durante las próximas décadas y cerca de cero emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero de larga duración para el final del siglo. Instrumentar esas reducciones

plantea desafíos tecnológicos, económicos, sociales e institucionales, los cuales aumentarían si hay retrasos en la mitigación adicional y si tecnologías clave no están disponibles. Limitar el calentamiento a niveles menores o mayores implica desafíos similares, pero con diferentes escalas de tiempo. (p. 20).

Adaptación y mitigación

Muchas opciones de adaptación y mitigación pueden ayudar para hacer frente al cambio climático, pero ninguna opción es suficiente por sí misma. Una instrumentación efectiva depende de políticas y cooperación en todos los niveles y puede ser mejorada a través de respuestas integradas que ligen la adaptación y la mitigación con otros objetivos sociales. (p. 26).

Las respuestas de adaptación y mitigación se basan en factores facilitadores comunes. Estos incluyen instituciones y gobernabilidad eficaces, innovación e inversión en tecnologías e infraestructura amigables con el medio ambiente, medios de vida sostenibles y opciones de comportamiento y estilos de vida. (p. 26).

Existen en todos los sectores opciones para la adaptación, pero su contexto de instrumentación y su potencial para reducir los riesgos relacionados con el clima difieren entre ellos y las regiones. Algunas respuestas de adaptación involucran co-beneficios, sinergias y compensaciones significativos. El aumento del cambio climático incrementará los desafíos de muchas opciones de adaptación. (p. 26).

Las opciones de mitigación están disponibles en cada sector importante. La mitigación puede ser más efectiva en costo si se emplea un enfoque integrador que combine medidas para reducir el uso de energía y la intensidad de los gases de efecto invernadero en los sectores de consumo final, descarbonizar el abastecimiento de energía, reducir las emisiones netas y fomentar sumideros de carbono en los sectores basados en el uso de la tierra. (p. 28).

Respuestas eficaces de adaptación y mitigación dependerán de políticas y medidas a lo largo de múltiples escalas: internacional, regional, nacional y provincial (sub-nacional). Políticas a través de todas las escalas que apoyen el desarrollo tecnológico, la difusión y la transferencia, así como respuestas financieras para el cambio climático, pueden complementar y mejorar la eficacia de las políticas que directamente promuevan la adaptación y la mitigación. (p. 29).

El cambio climático es una amenaza al desarrollo sostenible. Sin embargo, hay muchas opciones para ligar la mitigación, la adaptación y la búsqueda de otros objetivos sociales a través de respuestas integradas (alta certidumbre). La instrumentación exitosa se basa en herramientas pertinentes, estructuras de gobierno adecuadas y una capacidad de respuesta mejorada (certidumbre media). (p. 31).

Anexo 2

Principales conclusiones de *Climate Change Reconsidered* (Idso et al., 2013, pp. 1-5; 2014, pp. 6-14):

Ciencia física

Capítulo 1. Modelos climáticos globales y sus limitaciones.

- *Las propiedades inherentes de los modelos hacen imposible la previsibilidad dinámica. Sin previsibilidad dinámica, deben usarse otras técnicas para simular el clima. Estas técnicas presentan sesgos de diversa magnitud en las proyecciones de los modelos.*
- *Para tener validez en términos de proyecciones futuras, los modelos de circulación general deben incorporar no sólo los diversos procesos físicos involucrados en la determinación climática, sino también todos los procesos biológicos y químicos importantes que influyen en el clima sobre largos periodos de tiempo. Varios de estos importantes procesos o son perdidos o representados inapropiadamente en los actuales modelos de estado-del-arte del clima.*
- *Las limitaciones en la potencia de cálculo frecuentemente resultan en la incapacidad de los modelos para resolver importantes procesos climáticos. Los modelos de baja resolución fallan en capturar muchos fenómenos importantes de escala regional o aún menores, como las nubes; la reducción de escala a modelos de alta resolución introduce interacciones de frontera que pueden contaminar el área modelada y propagar error.*
- *La magnitud del rango de las respuestas proyectadas a una duplicación del CO₂ atmosférico por sí misma establece que los grandes errores y limitaciones en los modelos aún no han sido corregidos.*
- *Muchos modelos de circulación general fallan en contabilizar apropiadamente ciertos “efectos multiplicadores” que podrían amplificar significativamente los impactos iniciales de varios procesos de la biosfera. Por ejemplo, aunque las variaciones absolutas asociadas con algunos fenómenos solares son más bien pequeños, varios efectos multiplicadores podrían amplificar significativamente la perturbación inicial.*
- *Imperfecciones mayores en los modelos impiden una simulación apropiada de importantes elementos del sistema climático, incluyendo presión, viento, nubes, temperatura, precipitación, corrientes oceánicas, hielo marino, permafrost, etc. Grandes diferencias entre las predicciones del modelo y las observaciones existen frecuentemente cuando se comparan estos elementos o características. En algunos casos, los modelos informáticos fallan en simular incluso el signo correcto de los parámetros observados.*
- *Aunque se han notado algunas mejoras de desempeño entre el conjunto de modelos del CMIP3 [Coupled Model Intercomparison Project, Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados] usado en AR4 [Cuarto Informe de evaluación] y los más recientes modelos CMIP5 usados en AR5 [Quinto Informe de evaluación], muchos investigadores reportan haber encontrado muy poca o ninguna mejora en los resultados del modelo CMIP5 para varios parámetros y características importantes del clima de la Tierra.*

Capítulo 2. Forzamientos y retroalimentaciones.

- *Investigación publicada en revistas científicas revisada por pares indica que el modelo derivado de la sensibilidad a la temperatura de la Tierra aceptado por el IPCC es demasiado amplio. Retroalimentaciones negativas en el sistema climático reducen esa sensibilidad a valores de un orden de menor magnitud.*
- *Establecer la relación de fase histórica entre el dióxido de carbono atmosférico y la temperatura es un paso necesario hacia el entendimiento de la relación física entre el forzamiento del CO₂ y el cambio climático. Cuando estos análisis son llevados a cabo, los cambios en el CO₂ son frecuentemente vistos con retraso de los cambios en la temperatura por varios cientos de años.*

- Muchos estudios revelan un gran desacoplamiento de la temperatura y el CO₂ en diferentes secciones del registro histórico. Estos hallazgos contradicen la teoría del IPCC de que los cambios en el CO₂ atmosférico impulsan los cambios en la temperatura.
- Las observaciones del metano atmosférico en las últimas dos décadas permanecen lejos de los valores proyectados por el IPCC en cada uno de los cuatro Reportes que han publicado a la fecha. Las proyecciones de temperatura del IPCC, que incorporan esta influencia inflada, deberían ser revisados a la baja para dar cuenta de esta discrepancia.
- Debido a que la agricultura representa casi la mitad de las emisiones de óxido nitroso (N₂O) en algunos países, hay preocupación de que un mayor crecimiento de las plantas como consecuencia del enriquecimiento del CO₂ pueda incrementar la cantidad y el efecto de calentamiento de este gas de efecto invernadero. Pero investigación de campo muestra que las emisiones de N₂O probablemente caerán en la medida que las concentraciones de CO₂ y las temperaturas aumenten, indicando que esto es realmente otra retroalimentación climática negativa.
- El IPCC ha concluido que “la retroalimentación radiativa neta debido a todos los tipos de nubes es probablemente positiva”. Contrario a esta valoración, varios estudios indican que el efecto neto global de las retroalimentaciones de las nubes es un enfriamiento, la magnitud del cual igualará o excederá el calentamiento proyectado de un incremento de los gases de efecto invernadero.
- El IPCC probablemente subestima el efecto total de enfriamiento de los aerosoles. Algunos estudios han encontrado que su efecto radiativo es comparable o mayor que el forzamiento de temperatura causado por todo el incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero registradas desde los tiempos preindustriales.
- Se sabe que temperaturas más altas incrementarán las emisiones de sulfuro de dimetilo de los océanos, lo que incrementará el albedo de las nubes marinas bajas (estratos), que tienen un efecto de enfriamiento. El IPCC caracteriza esta cadena de eventos como “una retroalimentación aerosol-clima bastante débil en la escala global”, pero muchos estudios sugieren lo contrario.
- Muchos otros forzamientos y retroalimentaciones negativos importantes existen en la naturaleza, sobre los cuales poco es conocido o reconocido por el IPCC. Se ha mostrado por múltiples estudios científicos que esos forzamientos y retroalimentaciones influyen significativamente en el clima de la Tierra en un grado comparable al proyectado por el calentamiento global causado por el ser humano.
- El IPCC indica que un forzamiento positivo existe entre el clima y el ciclo del carbono en escalas de tiempo de siglos a milenios, de tal manera que un clima más caliente provocará una pérdida del almacenamiento del carbono. No hay evidencia empírica para sostener esa aseveración. Lo contrario parece ser el caso, ya que la absorción global de carbono se duplicó en el pasado medio siglo.

Capítulo 3. Forzamiento solar del clima.

- Se está acumulando evidencia de que los cambios de temperatura en la superficie de la Tierra son impulsados por variaciones en la actividad solar. Ejemplos de cambios climáticos controlados por el Sol incluyen el Periodo Cálido Medieval, la Pequeña Edad de Hielo y el Periodo Cálido de principios del siglo XX (1910-1940).
- El Sol pudo haber contribuido con tanto como el 66 % del calentamiento observado en el siglo XX, y tal vez más.
- Fuertes correlaciones empíricas entre la variabilidad solar e índices climáticos que incluyen temperatura, precipitación, sequías, inundaciones, escurrimientos de agua y monzones han sido reportadas de todo el mundo.
- Los modelos del IPCC no incorporan factores solares importantes como las fluctuaciones en la intensidad magnética y sobreestiman el papel del forzamiento del CO₂ relacionado con las actividades humanas.

- *El IPCC falla en considerar la importancia de la relación empíricamente demostrada entre la actividad solar, el ingreso de rayos cósmicos galácticos y la formación de nubes bajas.*
- *La respectiva importancia del Sol y el CO₂ en el forzamiento del clima de la Tierra permanece sin resolver; los modelos climáticos actuales no tienen en cuenta una gran cantidad de conexiones conocidas entre el Sol y el clima.*
- *La reciente tranquilidad en la actividad solar y la extrapolación en el futuro de los patrones de los ciclos solares sugieren que un enfriamiento planetario podría ocurrir en las próximas décadas.*

Capítulo 4. Observaciones: récords de temperatura.

- *El calentamiento de finales del siglo XX así como el cese del calentamiento ocurrido desde 1998 están comprendidos dentro del rango de variabilidad natural del clima.*
- *Algunos registros de la temperatura superficial del planeta contienen un significativo sesgo de calentamiento introducido por correcciones insuficientes sobre el efecto de isla de calor urbano, el cual no es inducido por gases de efecto invernadero. Filtrar la urbanización y los efectos relacionados con el uso del suelo en el registro de temperatura es una tarea complicada, y hay evidencia sólida de que los métodos usados actualmente son inadecuados.*
- *Aunque todos los modelos de efecto invernadero muestran un incremento de la tendencia de calentamiento con la altitud, alcanzando un pico alrededor de los 10 km con aproximadamente dos veces el valor de la superficie, los datos de temperatura de los globos dan el resultado opuesto: no un incremento del calentamiento, sino un ligero enfriamiento con la altitud en la zona tropical.*
- *La afirmación del IPCC de que hay evidencia robusta de un calentamiento amplificado en las regiones polares de la Tierra inducido por el CO₂ es falsa, la cual es invalidada una y otra vez por datos del mundo real*
- *El clima de la Tierra se ha enfriado y calentado independientemente de la concentración de CO₂ atmosférico, lo cual revela la verdadera incapacidad del dióxido de carbono para impulsar el cambio climático a lo largo del Holoceno. Condiciones tan calientes como, o más calientes que, las del presente han persistido a través del Holoceno por décadas y siglos, incluso cuando la concentración de CO₂ de la atmósfera permaneció en valores aproximadamente 30 % más bajos que los actuales.*
- *Un enorme cuerpo de literatura claramente demuestra que la evaluación del IPCC de la Anomalía Climática Medieval (ACM) es incorrecta. El grado de calentamiento e influencia climática durante la ACM ciertamente varió de región en región, y por lo tanto sus consecuencias se manifestaron de diferentes maneras. Pero de que esta ocurrió y fue un fenómeno global es cierta.*
- *Simulaciones de modelos de computadora han dado lugar a tres afirmaciones relacionadas con la influencia del calentamiento global en el fenómeno ENSO (El Niño-Oscilación del Sur): 1) el calentamiento global incrementará la frecuencia de fenómenos ENSO, 2) el calentamiento global incrementará la intensidad de los fenómenos ENSO, 3) desastres relacionados con el tiempo [temperie] serán exacerbados bajo condiciones de El Niño. Sin embargo, generalmente esto no es lo que revelan los datos de las observaciones. En efecto, en cerca de todos los registros históricos se aprecia que una actividad El Niño frecuente y fuerte se incrementa durante periodos de temperaturas frías (por ejemplo, la Pequeña Edad de Hielo) y decrece durante periodos cálidos (por ejemplo, el Periodo Cálido Medieval, el actual periodo cálido).*

Capítulo 5. Observaciones: la criosfera.

- *El conjunto de datos geofísicos de satélite y aéreos utilizados para cuantificar la cantidad de hielo global son reducidos y los métodos empleados están en sus primeras etapas, pero los resultados a la fecha sugieren que tanto las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida están cerca de balance.*

- Núcleos de hielo profundo de la Antártida y Groenlandia muestran que el cambio climático ocurre como grandes ciclos glaciales-interglaciales y como eventos decenales y seculares más cortos con grandes tasas de calentamiento y enfriamiento, incluyendo mediciones abruptas de temperatura.
- Los cambios observados en temperatura, caída de nieve, velocidad de flujo de hielo, extensión de glaciares y desprendimiento de icebergs tanto en Groenlandia como en la Antártida parecen estar dentro de los límites de la variación natural del clima.
- La cobertura del hielo marino global es similar en superficie a la que se registró al comienzo de las observaciones por satélite en 1979, con una contracción en el océano Ártico desde entonces, siendo compensada por un crecimiento alrededor de la Antártida.
- Durante los pasados 25,000 años (Pleistoceno tardío y Holoceno) los glaciares alrededor del mundo han fluctuado ampliamente en correspondencia con cambios en el clima, algunas veces contrayéndose a posiciones y volúmenes más pequeños que los actuales.
- No obstante este hecho, los glaciares de montaña alrededor del mundo muestran una amplia variedad de respuestas a la variación del clima local y no responden al cambio de temperatura global de una manera simple y uniforme.
- Los glaciares de montañas tropicales tanto en Sudamérica como en África han retrocedido en los pasados 100 años debido a una reducción de precipitación y a un incremento de la radiación solar; algunos glaciares en otras partes también han retrocedido desde el final de la Pequeña Edad de Hielo.
- Los datos sobre la historia global de los glaciares y el balance de la masa de hielo no sostienen las afirmaciones hechas por el IPCC de que las emisiones de CO₂ están causando que la mayoría de los glaciares en la actualidad estén retrocediendo y deritiéndose.
- No hay evidencia de que los actuales cambios en el permafrost del Ártico no sean naturales o de que el metano liberado por la descongelación del suelo podría afectar significativamente el clima de la Tierra.
- La mayoría de los hidratos de gas en la Tierra se presentan en bajas saturaciones y en sedimentos a tan grandes profundidades abajo del suelo marino o en permafrost en tierra que ellos apenas serían afectados por el calentamiento a lo largo incluso de mil años.

Capítulo 6. Observaciones: la hidrosfera y los océanos.

La hidrosfera.

- Existe poca evidencia de un incremento total en la precipitación global durante el siglo XX independiente de la periodicidad multidecenal climática natural.
- La precipitación del Monzón no llegó a ser más variable o intensa durante el calentamiento de los últimos años del siglo XX; en cambio, la precipitación respondió principalmente a variaciones en la actividad solar.
- Los monzones sudamericanos y asiáticos fueron más activos durante la fría Pequeña Edad de Hielo y menos activos durante el Periodo Cálido Medieval. No han sido ligados a las emisiones de CO₂ ni cambios globales ni locales en escurrimientos.
- La relación entre la sequía y el calentamiento global es débil, ya que sequías severas ocurrieron en el Periodo Cálido Medieval y en la Pequeña Edad de Hielo.

Océanos

- El conocimiento del cambio del nivel del mar local es vital para el manejo costero; este cambio ocurre a tasas ampliamente variables alrededor del mundo, típicamente entre alrededor de +5 y -5 mm/año.
- El nivel del mar global (eustático), conocimiento del cual sólo se tiene un uso limitado para el manejo costero, aumentó en una tasa promedio de entre 1 y 2 mm/año en el siglo pasado.

- Estudios satelitales de altimetría del cambio del nivel del mar indica tasas de incremento global desde 1993 de arriba de 3 mm/año, pero las complejidades del procesamiento y las primeras etapas del método se oponen a considerar este resultado como seguro.
- Las tasas de cambio del nivel del mar global varían de manera decenal y multidecenal y no muestran ni aceleración reciente ni una relación simple con el incremento de las emisiones de CO₂.
- Los atolones de coral del Pacífico no están siendo ahogados por un aumento extra del nivel del mar; en cambio, las costas de atolones son afectadas directamente por el tiempo [temperie] e infrecuentemente por fenómenos de marea alta, variaciones del nivel del mar de El Niño e impactos debido al aumento de las poblaciones humanas.
- Un aumento extra del nivel del mar debido a una expansión térmica (aumento termoestérico) es también improbable ya que la red de boyas del Programa Argo no muestra un calentamiento significativo del océano en los últimos nueve años.
- Aunque el rango de variación natural tiene aún que ser completamente descrito, se carece de pruebas de que los cambios recientes en la circulación global del océano están afuera de la variación natural o de que fueron causados por las emisiones humanas de CO₂.

Capítulo 7. Observaciones: clima extremo.

- La variabilidad de la temperatura del aire disminuye a medida que la temperatura media del aire aumenta, en todas las escalas de tiempo [cronológico].
- Por lo tanto, la afirmación de que el calentamiento global llevará a más extremos de clima y tiempo [temperie], incluyendo la temperatura en sí misma, parece teóricamente sin sentido; la afirmación tampoco es soportada por la evidencia empírica.
- Aunque algunas regiones específicas han experimentado cambios en la intensidad o el número de eventos extremos a lo largo del siglo XX, para el planeta como un todo no existe relación entre esos eventos y el calentamiento global en los últimos 100 años.
- Observaciones de todo el planeta demuestran que las sequías no han sido más extremas o erráticas como consecuencia del calentamiento global. En la mayoría de los casos, las peores sequías en los registros meteorológicos históricos fueron mucho más suaves que las sequías ocurridas periódicamente en tiempos mucho más fríos.
- Hay poca o ninguna evidencia de que la precipitación llegará a ser más variable e intensa en un mundo más cálido; ciertamente, algunas observaciones muestran todo lo contrario.
- No ha habido un incremento significativo ni en la frecuencia ni en la intensidad del tiempo [temperie] tormentoso en la época moderna.
- A pesar del supuesto calentamiento “sin precedentes” del siglo XX, no ha habido un incremento en la intensidad o frecuencia de los ciclones tropicales globalmente o en cualquiera de las cuencas oceánicas específicas.

Impactos biológicos

Capítulo 1. CO₂, plantas y suelos.

- Resultados obtenidos de 3,586 experimentos separados llevados a cabo en 549 especies de plantas revelan que cerca de todas experimentaron incrementos en su peso seco o biomasa en respuesta al enriquecimiento del CO₂ atmosférico (de aquí en adelante referido como “aumento del CO₂”. Resultados adicionales obtenidos de 2,094 experimentos separados llevados a cabo en 472 especies de plantas revelaron que cerca de todas experimentaron incrementos en sus tasas de fotosíntesis en respuesta al aumento del CO₂.
- Estudios del enriquecimiento de CO₂ a largo plazo confirman los hallazgos de los experimentos a corto plazo, demostrando que el mejoramiento del crecimiento, la conservación de agua y el alivio de los efectos del estrés probablemente persistan a través del ciclo de vida de la planta.

- *La productividad forestal y las tasas de crecimiento alrededor del mundo se han incrementado gradualmente desde la Revolución Industrial en concierto con, y en respuesta a, el histórico incremento de la concentración en el aire de CO₂. Por lo tanto, en la medida que el CO₂ continúe aumentando, los bosques probablemente responderán exhibiendo incrementos significativos en la producción de biomasa y probablemente crecerán de manera más robusta y significativamente expandirán sus límites.*
- *Incrementos modelos de la temperatura del aire tienden a incrementar el almacenamiento de carbono en los bosques y sus suelos. Así, bosques primarios pueden ser significantes sumideros de carbono y su capacidad para secuestrar carbono en el futuro crecerá en la medida que el CO₂ continúe aumentando.*
- *En la medida en que el CO₂ continúe aumentando, la productividad de los pastizales se incrementará aún bajo condiciones no favorables de crecimiento, caracterizadas por una humedad del suelo menor a la adecuada, nutrientes inadecuados, temperatura del aire elevada y estrés físico impuesto por herbívoros.*
- *El descongelamiento del permafrost causado por el incremento de la temperatura del aire probablemente no transformará las turberas de sumideros de carbono a fuentes de carbono. En vez de esto, la rápida terrestrialización probablemente intensificará condiciones de sumidero de carbono.*
- *El aumento del CO₂ probablemente mejorará la productividad y capacidad para secuestrar carbono de los humedales de la Tierra. Además, el aumento de CO₂ podría ayudar a los humedales costeros a hacer contrapeso a los impactos negativos de mares en ascenso.*
- *El aumento de CO₂ probablemente permitirá la existencia de un mayor número de bacterias benéficas (que ayudan a secuestran carbono y nitrógeno) dentro de los suelos y ambientes de agua anaeróbica, beneficiando así ecosistemas terrestres y acuáticos.*
- *El efecto de fertilización aérea del aumento del CO₂ probablemente resultará en mayores almacenamientos de carbono en el suelo debido al incremento de la entrada de carbono en estos, aún en suelos pobres en nutrientes y a pesar de los incrementos de temperatura pronosticados. La capacidad de secuestrar carbono de la vegetación de la Tierra probablemente actuará como un significativo freno en la tasa de aumento del contenido de CO₂ en el aire y, por lo tanto, ayudará a cambiar la magnitud de cualquier calentamiento global inducido por el CO₂.*
- *El aumento de CO₂ ha reducido significativamente la erosión de la capa superficial de suelo en las décadas pasadas; el incremento continuo del CO₂ atmosférico puede mantener esta tendencia y quizá aún la acelere para el futuro cercano.*

Capítulo 2. Características de las plantas.

- *El aumento de CO₂ mejora el crecimiento, desarrollo y rendimiento final de las plantas (en el caso de cultivos agrícolas) al incrementar las concentraciones de hormonas vegetales que estimulan la división y elongación celular y la síntesis de proteínas.*
- *El aumento de CO₂ permite a las plantas producir más y más grandes flores, así como otros cambios relacionados con las flores que tienen implicaciones significativas para la productividad y supervivencia de las plantas, casi todos los cuales son positivos.*
- *El aumento de CO₂ incrementa la producción de glomalina, una proteína creada por hongos que viven en asociación simbiótica con las raíces del 80 % de las plantas vasculares del planeta, donde se está teniendo un enorme impacto positivo en la biosfera.*
- *El aumento de CO₂ probablemente afectará muchas características de las hojas de las plantas agrícolas, conduciendo la mayoría de los cambios a más altas tasas y eficiencias de fotosíntesis y crecimiento así como un incremento de resistencia al ataque de herbívoros y patógenos.*
- *El aumento de CO₂ estimula la fotosíntesis en casi todas las plantas, permitiéndoles producir más carbohidratos no estructurales que pueden ser usados para crear importantes componentes secundarios basados en carbono, uno de los cuales es la lignina.*

- El aumento de CO₂ lleva a mejorar el estado físico, la polinización de la flor y la producción de néctar de las plantas, conduciendo al incremento en frutas, granos y rendimientos vegetales de cultivos agrícolas así como al incremento de productividad en la vegetación natural.
- Así como el aumento de CO₂ provoca que muchas plantas incrementen la biomasa, las plantas más grandes probablemente desarrollarán sistemas de raíces más extensos, permitiéndoles extraer una mayor cantidad de nutrientes minerales del suelo.
- El aumento del CO₂ provoca que las plantas secuencialmente reduzcan la apertura de sus estomas, por lo que restringen la pérdida innecesaria de agua debido a una excesiva transpiración, mientras que algunas plantas también reducen la densidad (número por área) de sus estomas en sus hojas.
- El aumento de CO₂ mejora significativamente las concentraciones de tanino condensado de la gran mayoría de árboles y pastos, proveyéndolos con defensas más fuertes contra varios herbívoros tanto arriba como debajo de la tierra. Esto en consecuencia reduce la cantidad de metano, un potente gas de efecto invernadero, liberado a la atmósfera por rumiantes royendo las hojas de los árboles y los pastos.
- En la medida que aumenta la cantidad de CO₂ del aire, muchas especies de plantas podrían no experimentar la aclimatación fotosintética, aun bajo condiciones de bajo nitrógeno en el suelo. En el caso de que una planta no pueda balancear sus fuentes y sumideros de carbohidratos, la aclimatación inducida por el CO₂ provee una manera de alcanzar ese balance desplazando recursos del lugar de la fotosíntesis para mejorar el desarrollo del sumidero u otros procesos importantes de la planta.

Capítulo 3. Plantas bajo estrés.

- El aumento del CO₂ ejerce una mayor influencia positiva en plantas enfermas en contraposición a plantas saludables porque significativamente mejora los efectos negativos de tensiones impuestas sobre las plantas por patógenos invasores.
- El aumento del CO₂ ayuda a muchas plantas a usar el agua más eficientemente, ayudándolas a superar condiciones estresantes impuestas por sequías u otras condiciones de humedad de suelo menores a las óptimas.
- Las tasas mejoradas de la fotosíntesis de las plantas y de la producción de biomasa por el aumento del CO₂ no disminuirán por cualquier calentamiento global que pudiera acompañarlo en el futuro. De hecho, si aumentan las temperaturas del aire al mismo tiempo, los efectos del enriquecimiento del CO₂ atmosférico que estimulan el crecimiento probablemente se incrementarán aún más.
- Aunque el aumento del CO₂ incrementa el crecimiento de muchas malas hierbas, la fracción beneficiada no es tan grande como la experimentada por plantas que no son malas hierbas. Por lo tanto, el enriquecimiento del aire con CO₂ podría proveer a las plantas que no son malas hierbas de una mayor protección en contra del decrecimiento de la productividad inducido por las malas hierbas.
- El aumento del CO₂ mejora las habilidades de las plantas para soportar los deletéreos efectos de metales pesados donde están presentes en suelos con niveles tóxicos.
- El aumento del CO₂ reduce la frecuencia y severidad de los herbívoros en contra de cultivos y árboles incrementando la producción de sustancias naturales que repelen insectos, llevando a la producción de hojas más simétricas que son menos susceptibles a ataques por herbívoros y haciendo árboles más capaces de sobrevivir a una defoliación severa.
- El aumento del CO₂ incrementa la fotosíntesis neta y la producción de biomasa de muchos cultivos agrícolas, gramíneas y especies de pastizales aun cuando las concentraciones de nitrógeno del suelo tiendan a limitar su crecimiento. La entrada al suelo de carbono inducido por CO₂ adicional estimula la descomposición microbiana y por lo tanto lleva a tener más nitrógeno

disponible en el suelo, de esta manera se desaprueba de manera concluyente la hipótesis de una limitación progresiva de nitrógeno.

- El aumento del CO₂ normalmente reduce y puede anular completamente los efectos negativos de la contaminación por ozono sobre la fotosíntesis, el crecimiento y los rendimientos de casi todos los cultivos agrícolas y los árboles que han sido evaluados experimentalmente.
- El aumento del CO₂ puede ayudar a las plantas a superar tensiones impuestas por la acumulación de la salinidad en el suelo debido a la irrigación constante.
- El aumento del CO₂ es un poderoso antídoto contra los impactos biológicos perjudiciales que podrían ser causados por un incremento en el flujo de la radiación ultravioleta B [onda media] a la superficie de la Tierra debido a la reducción de la capa de ozono estratosférico del planeta.

Capítulo 4. El futuro de la vegetación de la Tierra.

- El vigor de la biosfera terrestre se ha estado incrementando con el tiempo, revelando un gran reverdecimiento de la Tierra posterior a la Revolución Industrial el cual se extiende a lo largo de todo el globo. En los últimos 50 años, la absorción global de carbono se ha duplicado de 2.4 ± 0.8 miles de millones de toneladas en 1960 a 5.0 ± 0.9 miles de millones de toneladas en 2010.
- El aumento del contenido del CO₂ de la atmósfera, que el IPCC considera como la causa principal detrás de todos sus “motivos de preocupación” sobre el futuro de la biosfera, es más probable que sea la principal causa de la tendencia de reverdecimiento observada.
- El observado reverdecimiento de la Tierra ha ocurrido a pesar de muchas de las agresiones reales e imaginarias sobre la vegetación de la Tierra, incluyendo incendios, enfermedades, brotes de pestes, contaminación del aire, deforestación y cambio climático. El aumento del CO₂ está haciendo a la biosfera más resiliente al estrés ya que se vuelve más exuberante y productiva.
- La productividad agrícola en los Estados Unidos y a lo largo del globo se incrementó dramáticamente en las tres últimas décadas del siglo veinte, un fenómeno en parte debido a nuevas técnicas de cultivo, pero también a temperaturas más altas y más altos niveles de CO₂.
- Un futuro calentamiento del clima sumado al aumento del CO₂ aumentará aún más la producción agrícola global y ayudará a satisfacer las necesidades de alimentación de la población creciente del planeta.
- Los efectos directos positivos de los niveles más altos de CO₂ atmosférico en los futuros rendimientos de los cultivos probablemente dominarán cualquier efecto negativo hipotético asociado con condiciones cambiantes de la temperie, justo como ha sido durante el siglo veinte y el comienzo del siglo veintiuno.
- Las plantas pueden ajustar su fisiología para adaptarse a un calentamiento tanto de la magnitud como de la velocidad de subida típicamente predicho por los modelos climáticos, si tal calentamiento ocurre en realidad.
- Sigue acumulándose evidencia sobre variaciones hereditarias sustanciales de rasgos de las plantas ecológicamente importantes, incluyendo la distribución de biomasa en la raíz, tolerancia a la sequía y plasticidad ante la disposición de nutrientes, lo cual sugiere que una rápida evolución probablemente ocurra basada sólo en variación epigenética. El aumento del CO₂ ejercerá una significativa presión selectiva en las plantas, lo cual se espera mejore su desempeño ante la presencia de varios desencadenantes de estrés a través de procesos microevolutivos.
- Así como las cosas actualmente están bien para la agricultura mundial, la selección natural y la bioingeniería podrían traer algunos efectos benéficos adicionales. Por ejemplo, se pueden seleccionar genotipos altamente sensibles al CO₂ de una amplia variedad de plantas para tomar ventaja de su habilidad genética para hacer más óptimo su crecimiento en respuesta al aumento del CO₂.

Capítulo 5. Animales terrestres.

- *El pronóstico del IPCC sobre la futura extinción de especies se basa en una perspectiva estrecha de la literatura que es altamente selectiva y apoyada casi enteramente en proyecciones de modelos, opuestos a las observaciones del mundo real; las últimas frecuentemente contradicen a los primeros.*
- *Numerosos defectos son inherentes en los modelos utilizados en la predicción del impacto del clima en la salud y distribución de especies animales. Los supuestos y las limitaciones los hacen poco fiables.*
- *Las investigaciones sugieren que las poblaciones de anfibios sufrirán poco daño, en todo caso, por el proyectado calentamiento global causado por el CO₂, y se beneficiarían de ello.*
- *Aunque han sido documentados en la literatura algunos cambios en las poblaciones de aves y sus hábitats, ligar dichos cambios al calentamiento global causado por el CO₂ sigue siendo impreciso. Más aún, cuando han ocurrido cambios son frecuentemente positivos, ya que muchas especies se han adaptado y están prosperando en respuesta al incremento de temperaturas de la época moderna.*
- *Los osos polares han sobrevivido a cambios históricos del clima los cuales han excedido a los del siglo veinte o a los que son pronosticados que ocurrirán en el futuro por modelos computacionales. Además, algunas poblaciones de osos polares parecen ser estables a pesar del incremento de temperaturas y el descenso del hielo marino durante el verano. La más grande amenaza que enfrentan no es el calentamiento global, sino la cacería por humanos, la cual históricamente ha tomado una enorme cuota de las poblaciones de osos polares.*
- *El efecto neto del cambio climático en la propagación de enfermedades parasitarias y transmitidas por vectores es complejo y en este momento parece difícil de predecir. Temperaturas más altas incrementan las tasas de mortalidad así como las tasas de desarrollo de muchos parásitos de importancia veterinaria, y la temperatura es sólo una de muchas variables que influyen en la gama de virus y otras fuentes de enfermedades.*
- *Investigaciones publicadas indican que el aumento de las temperaturas probablemente no incrementará, y podría disminuir, el daño a las plantas causado por herbívoros comedores de hojas, ya que el aumento del CO₂ atmosférico estimula la producción de ciertos compuestos defensivos en las plantas que son perjudiciales para las plagas animales.*
- *Información empírica de muchas especies animales, incluyendo mariposas, otros insectos, reptiles y mamíferos, indican que el calentamiento global y su miríada de efectos ecológicos tienden a fomentar la expansión y proliferación de hábitats, variedades y poblaciones de animales, o de otra manera no tienen efectos observables de una u otra manera.*
- *Múltiples líneas de evidencia indican que las especies animales se están adaptando, y en algunos casos evolucionando, para hacer frente al cambio climático de la época moderna, como es esperado por la evolución darwiniana y los bien establecidos conceptos ecológicos.*

Capítulo 6. Vida acuática.

- *Múltiples estudios de múltiples regiones del océano confirman que su productividad tiende a subir con la temperatura. Los objetos de esta investigación incluyen fitoplancton y microalgas, corales, crustáceos y peces.*
- *La vida acuática ha sobrevivido oscilaciones climáticas de escala decenal, centenaria y milenaria que han persistido por millones de años. La evidencia indica que está bien equipada para adaptarse a los pronosticados incrementos en la temperatura, si fuesen necesarios.*
- *Muchas especies acuáticas demuestran la capacidad de ajustar hacia arriba su máximo térmico crítico (la temperatura superior en la cual se presenta el comienzo de la incapacidad de comportamiento) en respuesta al incremento de temperatura pronosticado por el IPCC.*

- La disminución en los niveles de pH del océano en el año 2100 (en comparación con la etapa preindustrial) podría ser de sólo la mitad del valor de 0.4 que ha calculado el IPCC.
- La variabilidad natural en los niveles de pH del océano es a menudo más grande que el cambio de los niveles de pH pronosticados por el IPCC.
- Las fluctuaciones naturales del pH pueden tener un gran impacto en el desarrollo de la resiliencia en las poblaciones marinas, ya que la heterogeneidad en el ambiente con respecto a la exposición a pH y $p\text{CO}_2$ [presión parcial de dióxido de carbono en la sangre arterial] puede resultar en poblaciones que están aclimatadas a un pH variable o a extremos en pH.
- Debe ponerse atención cuando se interpretan resultados sobre los niveles más bajos de pH del agua de mar a partir de estudios de laboratorio. Estos estudios a menudo son incapaces, o están muy por debajo, de imitar las condiciones del mundo real, y por lo tanto frecuentemente producen resultados bastante diferentes de lo que es observado en la naturaleza.
- El aumento de temperaturas y de los niveles de CO_2 atmosférico no plantean una significativa amenaza a la vida acuática. Muchas especies acuáticas han mostrado una tolerancia considerable a temperaturas y valores de CO_2 predichos para los próximos siglos y muchas han demostrado probabilidad de respuestas positivas en estudios empíricos.
- El incremento de la temperatura del agua del mar es propicio para aumentar la calcificación de los corales, llevando a algunos expertos a pronosticar que dicha calcificación se incrementará cerca del 35 % por encima de los niveles preindustriales en 2100, y no ocurrirá una extinción de arrecifes de coral en el futuro.
- Para aquellas especies que están mostrando respuestas negativas, hay razones válidas para concluir que dichas respuestas serán en buena medida mitigadas a través de una adaptación o evolución fenotípica durante las décadas o centurias que la concentración de pH está proyectada a caer. Una evaluación similar puede ser hecha con respecto al impacto del incremento de las temperaturas o a una combinación de incremento de temperaturas y “acidificación” del agua marina/dulce.

Capítulo 7. Salud humana.

- Temperaturas más cálidas llevan a un descenso de la mortalidad relacionada con la temperatura, incluyendo muertes asociadas con enfermedades cardiovasculares, enfermedades respiratorias y accidentes cerebrovasculares. La evidencia de este beneficio viene de investigaciones realizadas en los principales países del mundo.
- En los Estados Unidos la persona promedio que murió debido a la exposición a temperatura fría perdió más de 10 años de vida potencial, mientras que la persona promedio que murió debido a la exposición a temperatura caliente probablemente no perdió más que unos cuantos días o semanas de vida.
- En los Estados Unidos, alrededor de 4,600 muertes son retardadas cada año en la medida que la gente se mueve de los fríos estados del noreste a los cálidos estados del suroeste. Entre 3 y 7 % de la ganancia en longevidad experimentada en las tres últimas décadas se debió simplemente a gente que se movió a estados más cálidos.
- Muertes relacionadas con el frío son por mucho más numerosas que muertes relacionadas con el calor en los Estados Unidos, Europa y en casi todos los países fuera de los trópicos. Trombosis coronaria y cerebral representan cerca de la mitad de toda la mortalidad relacionada con el frío.
- El calentamiento global está disminuyendo la incidencia de enfermedades cardiovasculares relacionadas con bajas temperaturas y temperie invernal en un mayor grado que el incremento de la incidencia de enfermedades cardiovasculares asociadas con temperaturas más altas y olas de calor del verano.
- Investigaciones y examen científico extenso contradicen la afirmación de que la malaria se intensificará y expandirá a lo largo del globo como resultado del calentamiento inducido por el CO_2 .

- *Las preocupaciones sobre grandes incrementos de enfermedades transmitidas por vectores, como el dengue, como resultado del incremento de las temperaturas son infundadas y no están apoyadas por la literatura científica, como índices climáticos son malos pronosticadores para la enfermedad del dengue.*
- *Aunque la temperatura y el clima en gran medida determinan la distribución geográfica de garrapatas, no están entre los factores más significativos que determinan la incidencia de enfermedades transmitidas por ellas.*
- *El aumento del CO₂ no sólo está incrementando la productividad de las plantas alimenticias comunes, también está incrementando significativamente la cantidad y el concentrado vitamínico de muchas sustancias que estimulan la salud halladas en sus tejidos, las cuales son fuentes importantes de sustento para esencialmente todos los animales y seres humanos.*
- *El aumento del CO₂ impacta positivamente la producción de numerosas sustancias que estimulan la salud halladas en plantas medicinales o de “comida saludable”, y este fenómeno pudo haber contribuido al incremento de la duración de la vida humana que se ha producido durante del siglo pasado aproximadamente.*
- *Hay pocas razones para esperar un incremento significativo de sustancias inducidas por el CO₂ producidas por plantas que dañen la salud humana en la medida que los niveles de CO₂ atmosférico sigan aumentando.*

Dioses en el patio
Cambios climáticos, transiciones energéticas y cultos apocalípticos

ISBN 978-607-97326-3-9
DOI 10.29410/QTP.16.08

Esta publicación digital se terminó de producir en noviembre de 2016.
Su edición y diseño estuvieron a cargo de:

Qartuppi[®]

Qartuppi, S. de R.L. de C.V.
<http://www.qartuppi.com>

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>

ISBN 978-607-97326-3-9

Qarcuppi®