



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

FACULTAD DE CIENCIAS
DIRECCIÓN GENERAL DE DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

CAMPO DE ESTUDIO: ESTUDIOS FILOSÓFICOS Y SOCIALES SOBRE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

APORTES PARA UNA FILOSOFÍA POLÍTICA DE LA CIENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO ANTROPOGÉNICO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA
PRESENTA:

HEBER VÁZQUEZ JIMÉNEZ

Tutora:

Dra. Siobhan Fenella Guerrero Mc Manus, CEIICH-UNAM

Comité revisor:

Dr. Ambrosio Velasco Gómez, IIF-UNAM
Dra. Natalia Verónica Soto Coloballes, PUEC-UNAM
Dr. Lev Orlando Jardón Barbolla, CEIICH-UNAM
Dr. José Agustín Mercado Reyes, CEIICH-UNAM

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, octubre de 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A Camila, Mateo, Bernardino y
a quienes se fueron antes que ellos
In Piam Memoriam

A toda mi familia,
con amor y gratitud

A mis camaradas y amistades,
con agradecimiento infinito

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a toda mi familia por su apoyo y cariño incondicional que me ha permitido concretar este paso académico en mi vida. Mi más sincera admiración por su fortaleza ante las adversidades en los años recientes.

A mis camaradas, por el diálogo, el debate y las enseñanzas en la búsqueda por un mundo otro, un mundo más justo y mejor: “gracias... totales”.

Agradezco también a viejas y nuevas amistades con quienes he tenido la fortuna de coincidir en la UNAM, cuyo apoyo y compañía fue importante en la maestría, presencial y a distancia: Viridiana, Liliana, Sandra, Iván, Isabel, Azucena, Andy, Edgar, Ana María, César... Y, por supuesto, a toda la comunidad de *Cienciorama* de quienes sigo aprendiendo la importancia social de la divulgación de la ciencia. Mención aparte, agradecido y en deuda con Mariana Esther, por todas las agudas preguntas y discusiones, por las lecturas —hechas y sugeridas— y por todo su apoyo cuando fue preciso.

Agradezco a mi lectora y lectores, la doctora Natalia Verónica Soto Coloballes, el doctor Ambrosio Velasco Gómez, el doctor Lev Jardón Barbolla y el doctor Agustín Mercado, por la calidez humana, el rigor académico y el conocimiento compartido. Ha sido un honor contar con su lectura, sus comentarios, observaciones y sugerencias.

Mi gratitud también con la doctora Siobhan Fenella Guerrero Mc Manus, asesora de esta tesis, cuyo compromiso académico en medio de la pandemia de COVID-19 ha sido admirable. Agradezco mucho su lectura cuidadosa, su escucha atenta a mis respuestas, sus preguntas agudas y sus comentarios que me ayudaron a aterrizar mejor mis ideas aunque los errores y limitaciones de este trabajo son atribuibles sólo a mi persona.

Al final pero no menos importante, agradecido con el pueblo de México que a pesar de sufrir los embates de la pandemia de COVID-19 —y desde antes— nunca ha dejado de trabajar y pagar impuestos, los cuales hicieron posible la suficiencia presupuestaria para ser beneficiado con una beca asignada por el CONACYT, lo que me permitió dedicarme de manera exclusiva a mis estudios de posgrado.

CONTENIDO

Índice de figuras y tablas.....	VI
Siglas, acrónimos y símbolos usuales.....	VII
Introducción.....	VIII
1. Breve historia de la ciencia del cambio climático antropogénico.....	1
1.1 El enigma de los bloques erráticos (<i>findlinge</i>).....	3
1.2 El enigma de las glaciaciones.....	5
1.3 Teoría orbital y teoría de la química atmosférica como origen de los cambios del clima.....	8
1.4 La ciencia del cambio climático desde la segunda mitad del siglo XX.....	15
2. ¿Qué es el cambio climático antropogénico?.....	27
2.1 Tiempo meteorológico y clima.....	27
2.2 El sistema climático terrestre.....	31
2.3 Algunos factores determinantes del clima terrestre.....	34
2.3.1 Radiación térmica.....	35
2.3.2 Efecto invernadero.....	37
2.3.3 El ciclo del carbono.....	40
2.3.3.1 El dióxido de carbono.....	42
2.3.4 Forzamiento radiativo.....	44
2.4 Cambio climático.....	44
2.5 Cambio climático antropogénico.....	47
2.5.1 Cambio en el forzamiento radiativo.....	48
2.5.2 Algunos cambios observados en el sistema climático.....	49
2.6 Causas del cambio climático antropogénico.....	51
2.7 Escenarios climáticos y futuros posibles.....	54
2.8 ¿Qué se puede esperar y qué se puede hacer ante el cambio climático antropogénico?.....	57
3. El clima, en los márgenes del pensamiento político tradicional.....	61
3.1 Advertencias científicas del daño ambiental antrópico.....	62
3.1.1 Amenaza existencial por el cambio climático antropogénico.....	65
3.2 El clima, en los márgenes del pensamiento político tradicional.....	66
3.2.1 El fallo de las políticas internacionales de mitigación del cambio climático antropogénico.....	71
3.3 Tres posibles respuestas teóricas explicativas del fracaso de las políticas internacionales de mitigación del cambio climático antropogénico.....	75
3.3.1 Respuesta 1: Diferencia entre la cultura científica y la humanística y política.....	75
3.3.2 Respuesta 2: Diferente acceso epistémico al cambio climático.....	79
3.3.3 Respuesta 3: Diferencia de compromisos ontológicos.....	85
3.4 Posibilidad de una filosofía política de la ciencia.....	89

4. Aportes para una filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico.....	92
4.1 ¿Por qué insistir en la filosofía si ya tenemos estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS)?.....	93
4.2 Algunas definiciones de filosofía política de la ciencia.....	97
4.3 ¿Qué es una definición?.....	103
4.4 Filosofía política de la ciencia: una propuesta.....	105
4.4.1 Filosofía.....	105
4.4.2 Lo político.....	107
4.4.1 La ciencia.....	110
4.4.4 Filosofía política de la ciencia: una propuesta.....	111
4.4.5 Filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico: una propuesta.....	116
4.5 Aportes para una filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico.....	118
4.5.1 Política cercana al naturalismo y un nuevo contrato social de la ciencia como alternativa.....	120
4.5.1.1 Pensamiento político cercano al naturalismo.....	121
4.5.1.2 Un nuevo contrato social de la ciencia.....	125
4.5.1.3 “Política científicamente fundamentada y ciencia políticamente relevante”.....	130
Conclusiones.....	133
Referencias.....	140

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS

<i>Fig. 1.1 Rocas del Margrave</i>	3
<i>Fig. 1.2 Bloques de roca transportados por glaciares</i>	4
<i>Fig. 1.3 Excentricidad terrestre y mecanismos de retroalimentación climática teorizados por James Croll</i> ...	11
<i>Fig. 1.4 Ciclos de Milankovitch y su duración estimada</i>	13
<i>Fig. 1.5 Cálculos de Guy Stewart Callendar del cambio de temperatura por CO₂ antrópico</i>	14
<i>Fig. 1.6 Fósiles de foraminíferos</i>	16
<i>Fig. 1.7 Cambios de temperatura durante el Pleistoceno calculados por Cesare Emiliani</i>	17
<i>Fig. 1.8 Primeros registros del CO₂ atmosférico por Charles David Keeling</i>	18
<i>Fig. 1.9 Línea del tiempo de los componentes de los modelos climáticos computacionales</i>	20
<i>Fig. 1.10 Núcleo de hielo (ice core) de la Antártida</i>	20
<i>Fig. 1.11 Reconstrucción de ciclos orbitales y su influencia en el clima durante el último millón de años</i>	21
<i>Fig. 1.12 Anomalías de temperatura entre 1891-2017</i>	22
<i>Fig. 1.13 Núcleo de hielo y reconstrucción climática a partir del CO₂ atmosférico atrapado en el hielo</i>	23
<i>Fig. 1.14 Cambios de temperatura estimados en diversos escenarios de “invierno nuclear”</i>	24
<i>Fig. 2.1 Ejemplo de un modelo y una carta meteorológica</i>	28
<i>Fig. 2.2 Valores de temperatura promedio y normal climatológica en una localidad estadounidense</i>	31
<i>Fig. 2.3 Principales elementos internos del sistema climático terrestre</i>	33
<i>Fig. 2.4 Espectro electromagnético</i>	35
<i>Fig. 2.5 Insolación diaria promedio</i>	36
<i>Fig. 2.6 Balance energético de la Tierra</i>	37
<i>Fig. 2.7 Espectro radiativo solar, terrestre y de absorción de gases de efecto invernadero</i>	38
<i>Fig. 2.8 El ciclo del carbono</i>	40
<i>Fig. 2.9 Distribución vertical de algunos gases atmosféricos</i>	42
<i>Fig. 2.10 Niveles de CO₂ y O₂ en la historia geológica del planeta</i>	43
<i>Fig. 2.11 Cambio y variabilidad climática sobre promedio y/o varianza</i>	46
<i>Fig. 2.12 Forzamiento radiativo antrópico estimado para 1950, 1980 y 2011</i>	48
<i>Fig. 2.13 Valores del ciclo solar, temperatura terrestre y concentración atmosférica de CO₂, CH₄ y N₂O</i>	49
<i>Fig. 2.14 Cambios observados en el sistema climático hacia 2013</i>	50
<i>Fig. 2.15 Comparación de los cambios climáticos modelados y observados</i>	51
<i>Fig. 2.16 Ejemplos de actividades humanas emisoras de gases de efecto invernadero</i>	52
<i>Fig. 2.17 Valores de las emisiones antrópicas de CO₂ por diversas actividades</i>	53
<i>Fig. 2.18 Emisiones antrópicas de CO₂ per cápita y absolutas por niveles de ingreso</i>	53
<i>Fig. 2.19 Comparación de los cuatro escenarios de RCPs consideradas hasta 2013</i>	55
<i>Fig. 2.20 Representación gráfica de trayectorias climáticas posibles con escenarios RCPs + SSPs</i>	56

TABLAS

<i>Tabla 2.1 Porcentaje de los componentes químicos de la atmósfera terrestre</i>	39
<i>Tabla 3.1 Emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero anuales (medidas en GtCO₂eq)</i>	73

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y SÍMBOLOS USUALES

~: *Aproximadamente*

±: *Intervalo de confianza*

°C: *Grados Celsius o Centígrados*

CH₄: *Metano*

CMNUCC: *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*

CO₂: *Dióxido de carbono*

δ¹⁸O: Delta ¹⁸O: *Proporción isotópica de oxígeno-18 (¹⁸O) / oxígeno-16 (¹⁶O)*

GEI: *Gas(es) de efecto invernadero*

Gt: *Giga tonelada = mil millones de toneladas métricas*

IPCC: *Intergovernmental Panel on Climate Change/ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático*

K: *(Grados) Kelvin*

λ: *Longitud de onda*

Mt: *Mega tonelada = un millón de toneladas métricas*

N₂O: *Óxido nitroso*

ONG(s): *Organización / organizaciones no gubernamental(es)*

RCPs: *Representative Concentration Pathway/ Trayectorias de concentración representativas*

SSPs: *Shared Socioeconomic Pathways/ Trayectorias socioeconómicas compartidas*

UNEP: *United Nations Environment Programme/ Programa Ambiental de Naciones Unidas*

W/m²: *Watt (o Vatio) por metro cuadrado*

WMO/OMM: *World Meteorological Organization/ Organización Meteorológica Mundial*

Introducción

El fin del mundo ya no es un concepto religioso, un juicio final espiritual, sino una posibilidad inminente en nuestra sociedad y economía. Si no se controla, el cambio climático por sí solo podría producir un enorme sufrimiento humano.

Anthony Giddens

En las sociedades occidentales y occidentalizadas el siglo XXI ha estado marcado por discursos apocalípticos de distinto signo, desde los temores milenaristas y del colapso del internet en el año 2000, pasando por la difusa y ubicua figura del “terror” desde 2001 hasta la “marcha triunfal” de una globalización como supuesto “fin de la historia”. Sin embargo, la frontera cronológica cruzada colectiva e inadvertidamente por la humanidad fue otra, señalada no por místicos ni políticos nerviosos sino por la ciencia: el Holoceno ha terminado, hemos entrado en el Antropoceno (Crutzen, 2002; McNeill y Engelke, 2014, pp. 1-2). Las actividades productivas humanas ya no son sólo fuerzas económicas, políticas e históricas sino también geológicas, dada su escala e intensidad en el uso de materia y energía.

Desde hace unas décadas —y hasta antes de la declaratoria de pandemia por la COVID-19 en marzo de 2020— el cambio climático antropogénico ha ido ocupando cada vez más un espacio central en los discursos, la conciencia y la acción política, tanto institucional como ciudadana, al ser una de las amenazas ambientales potencialmente catastróficas para la humanidad pero también un problema potencialmente soluble.

Los cambios naturales en el clima son fenómenos que han acompañado a las civilizaciones a lo largo de la historia y han jugado un papel en su auge y colapso (Diamond, 2007, p. 34). ¿Han sido los seres humanos tan descuidados para no prestarle atención a las condiciones atmosféricas? No. La humanidad efectivamente ha prestado atención a las condiciones meteorológicas desde tiempos inmemoriales ya que los fenómenos atmosféricos influyen en acciones cotidianas, tales como buscar abrigo y refugio ante el viento y la lluvia. Algunos autores incluso consideran que nuestra especie podría describirse como “*Homo meteorologicus*”

(Fine, 2007, p. 1). El clima, por otro lado, es algo más complejo que las condiciones atmosféricas de un día o una semana, refiere a condiciones imperantes durante un mes o periodos de tiempo más largo —ya sean temperaturas, precipitaciones, etc., —*vid. infra*, cap. 2—. Percibir tendencias requiere no sólo de una observación cuidadosa, continua o sistemática, sino también de una manera de codificar y transmitir el conocimiento adquirido.

Quizás nunca sepamos quiénes fueron los primeros seres humanos que distinguieron entre el clima y las condiciones meteorológicas empero sí sabemos que la noción científica de cambios en el clima, una idea bastante compleja, es históricamente reciente y difícilmente supera los 400 años de antigüedad. Saber esto ha sido posible gracias a que con la consolidación e institucionalización de las ciencias modernas —a caballo entre los siglos XVII y XVIII— comenzó la cultura literaria y de la citación mutua entre autores, lo cual tuvo por lo menos dos consecuencias: (1) se generaron documentos y registros escritos con fechas precisas y/o confiables; (2) se produjo una “elisión del saber popular” que originalmente alimentó el contexto de descubrimiento de muchas disciplinas (Birkhold, 2019, p. 204), y así se ocultó la verdadera antigüedad de saberes y conocimientos locales sobre el clima.

En los últimos tres siglos el conocimiento científico —laico, empírico, matemático e instrumental— sobre el clima se ha ido complejizando paralelamente con el desarrollo industrial y económico de las sociedades humanas. Si bien la idea científica de un clima *naturalmente* cambiante puede remontarse al siglo XVIII, la idea de un cambio climático *antropogénico*¹ sólo apareció en la literatura científica en la primera mitad del siglo XX.

La bonanza socioeconómica generada por formas de producción y reproducción social intensivas en el uso de materia y energía no sólo posibilitó el desarrollo de las ciencias que estudian el clima terrestre, también se ha convertido en un factor que afecta al propio objeto

¹ Aquí recogemos la palabra que se utiliza en las publicaciones de los diferentes organismos de la ONU como traducción certificada y de validez oficial internacional reconocida. Empero, caben algunos comentarios respecto al término. “Antropogénico” es un anglicismo que etimológicamente es incorrecto respecto al uso que se le ha dado: “**anthropogenic** An adjective that is applied to substances or processes that are produced by humans or that result from human activities. Strictly, this is an incorrect use of the word, which is derived from *anthropogenesis*, which is the study of human origins. The word is from the Greek *anthropos*, which means «human being», and *gen-*, which means «be produced».” (Allaby, 2007, p. 31). Una traducción castellana más precisa sería “antropogénito” —dada la connotación de generación, producción o engendramiento del sufijo *-génito*— pero sería una traducción innecesaria en tanto que la Real Academia Española de la lengua en la vigésima tercera edición del Diccionario de la Lengua Española recoge la voz “antrópico”, adjetivo que denota lo “producido o modificado por la actividad humana”. Por lo tanto, en este trabajo también utilizaremos la palabra “antrópico” como sinónimo de “antropogénico” pero dado el uso extenso de este segundo término lo preferiremos a sabiendas de su no tan adecuada corrección etimológica.

de estudio de esas ciencias. Desde la revolución industrial,^{II} las consecuencias ambientales de las actividades económicas se han ido convirtiendo en una preocupación no sólo científica (biológica, ecológica) sino también una preocupación política en diferentes escalas.

Esta tesis es un ensayo filosófico sobre algunas implicaciones de una afirmación aparentemente simple: “El cambio climático antropogénico en curso es un problema político”. No se opta aquí por un análisis lógico-lingüístico ni epistemológico “tradicional” de la filosofía de la ciencia, ya que para comprender las diferentes dimensiones políticas que atraviesan y derivan del actual cambio climático antrópico no basta sólo con comprender su teoría y explicación científica.

Este trabajo es un ensayo de *una* filosofía política de la ciencia, una entre muchas propuestas posibles. Siguiendo a Ricardo J. Gómez, esta investigación partió del supuesto de que “No hay una sola filosofía política aceptable de las ciencias [...] la razón principal de este carácter pluralista de nuestra propuesta está en el más importante y auténticamente «político» rasgo de toda filosofía política de las ciencias, su contextualidad.” (Gómez, 2014, p. 214).

La pregunta de investigación de este trabajo es la siguiente: ¿Es posible que uno de los factores principales del fracaso de las políticas internacionales de mitigación del cambio climático antropogénico sea que el pensamiento político, tradicionalmente antropocéntrico, no esté valorando ni comprendiendo adecuadamente tanto el rol materialmente determinante de un clima terrestre estable para la viabilidad de las sociedades humanas así como la importancia del conocimiento científico sobre el tema?

Para responder a tal interrogante, se ha establecido como objetivo general desarrollar una filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico que sea capaz de (1) reconocer el papel materialmente determinante del clima para las diversas formas políticas de vida humana sin que ello devenga en una postura cientificista radical o extrema; (2) admitir la novedad del factor climático como un tópico de la teoría y la acción política; (3) reconocer la importancia del conocimiento científico sobre el clima como una manera efectiva de acceder epistémicamente a ese nivel de materialidad del mundo.

^{II} Por revolución industrial se entiende aquí el proceso tecnológico, económico, social y político que inició a mediados del siglo XVIII en los países de Occidente y que se caracteriza por obtener la energía necesaria para poner en marcha distintos procesos productivos a partir de la quema de combustibles fósiles, principalmente carbón mineral, hecho que permite ir más allá de los límites de la economía orgánica basada en los ciclos naturales dependientes de la energía solar (Wrigley, 2010, p. 21).

Para alcanzar este objetivo general y responder a la pregunta de investigación el cuerpo de la tesis se divide en cuatro capítulos.

El capítulo 1 es una breve reconstrucción de la historia del cambio climático como problema científico. Desde el siglo XVIII hasta nuestros días, el conocimiento científico de los cambios en el clima ha pasado del gran misterio geológico de las glaciaciones hasta determinar el papel que juegan los ciclos orbitales del planeta así como los gases atmosféricos y sus propiedades termodinámicas en el clima terrestre.

El capítulo 2 es un breve estado de la cuestión del conocimiento científico actual sobre los cambios en el clima (naturales y antrópico). No es una exposición exhaustiva ni científica-climatológica, pues sólo se exponen los elementos mínimos para comprender en qué consiste el cambio climático antropogénico. Este capítulo, al igual que el primero, contiene ilustraciones para aclarar y ejemplificar nociones y datos relevantes sobre el tema.

El capítulo 3 es el planteamiento filosófico de la cuestión: si el cambio climático antropogénico es un problema político y las medidas internacionales para mitigar sus causas están fallando en lograr su cometido, entonces es probable que haya, entre otros muchos, al menos algún factor teórico involucrado en ese fracaso.

Si una pregunta mal planteada es difícil de responder adecuadamente, es probable que eso esté ocurriendo respecto a las medidas internacionales de mitigación de gases de efecto invernadero antrópicos —impulsores directos del cambio climático en curso—. Se exploran tres respuestas teóricas ante esta posibilidad: (1) la ignorancia respecto a cuestiones científicas por parte de la cultura humanística y política; (2) la atención tardía por parte de la ciencia y la política a las investigaciones filosóficas sobre el clima; (3) diferencia de compromisos ontológicos respecto al entendimiento de lo real. Las limitaciones de estas respuestas justifican el ensayo de una filosofía política de la ciencia.

En el capítulo 4 se comienza debatiendo porqué optar por una respuesta filosófica cuando ya existen estudios inter, multi y transdisciplinarios que también estudian las relaciones y efectos políticos de las ciencias: los estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS). La respuesta es muy simple, no toda filosofía intenta dar respuestas científicas, empíricas-positivas o lógico-formales demostradas de una vez y para siempre. Esta tesis propone un marco de interpretación, de reflexión, de cuestionamiento crítico, de ensayo creativo de hipótesis, explicaciones y narrativas especulativas o de segundo orden que puedan orientarnos

en el mundo y sobre el lugar que ocupa la vida humana en él de cara a los efectos e impactos del cambio climático antropogénico en curso.

Entendiendo por filosofía una actividad teórica de segundo orden, reflexiva, crítica y falible, se propone una definición por precisión, nominal y estipulativa de “filosofía política de la ciencia” y, como una necesaria subdivisión de ella, se propone una definición similar de “filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico”. Es desde esta última que se propone una respuesta teórica al inadecuado planteamiento teórico sobre cómo tener éxito en las medidas internacionales de mitigación del cambio climático antropogénico: elaborar políticas climáticas a partir de una visión laica y científica del cambio climático antrópico así como promover una ciencia políticamente comprometida. Debido al tiempo de investigación propio de una maestría (4 semestres), este trabajo es un esbozo muy general pero potencialmente fecundo.

Que en la primera mitad de este trabajo se hable de la historia y del estado de la cuestión de la ciencia actual de los cambios climáticos naturales y del cambio climático antropogénico en particular ha obedecido no tanto a un intento de elaborar un trabajo inter, multi o transdisciplinario sino a un nuevo ensayo de aquella tarea tan común en la filosofía cuando aborda temas científicos: reconstrucción racional.

La reconstrucción racional del conocimiento científico en los capítulos 1 y 2 ha seguido dos criterios: (1) el mayor rigor histórico posible —para un filósofo—; (2) explicar el tema lo más apegado posible al conocimiento científico actual sobre la materia. Estos criterios no son un capricho para vanagloria intelectual sino el deber de todo profesional de la filosofía cuando aborda temas científicos, tanto por “honor a la verdad” científica como por desafío disciplinar ante los excesos y defectos de la filosofía de la ciencia “clásica” y, así mismo, porque la función del pensamiento filosófico es, desde siempre, pensar el mundo: “La filosofía no piensa la filosofía, cuando es realmente filosofía y no sofística o ideología. No piensa textos filosóficos, y si debe hacerlo es sólo como propedéutica pedagógica para instrumentarse con categorías interpretativas. La filosofía piensa lo no-filosófico: la realidad.” (Dussel, 2011, p. 17).

Como un ensayo de la viabilidad de estudios filosóficos sobre ciencia y tecnología, se ha apostado por un apego a las historias de la ciencia y a los documentos oficiales de evaluación de la ciencia sobre el cambio climático, un método más usual en la filosofía política, porque la finalidad de esta investigación no ha sido enfocar la estructura lógica y racional de las teorías

científicas sino analizar las cuestiones polémicas y conflictivas que se detonan, atraviesan y/o rodean al cambio climático antropogénico.

La segunda mitad de esta tesis es el abordaje propiamente filosófico del tema, tanto el planteamiento del problema como el esbozo de una respuesta disciplinar. Si bien ya existen diferentes propuestas de filosofía política de la ciencia (*vid. infra*, cap. 4, pp. 97-103), hasta ahora no hay aún un consenso al respecto en la literatura. Uno de los méritos de este trabajo radica en que, de manera no planeada originalmente, logra ser un enfoque que puede organizar las propuestas previas en un marco filosófico suficientemente amplio y diverso pero temáticamente unificado.

Esta tesis no pretende ser la última palabra sobre el tema. Desde un enfoque nominalista y falibilista es una propuesta filosófica que no se enmarca en ninguna corriente realista y, por ello, no pretende ni científicidad (*i.e.* no es una propuesta sociológica, etnográfica ni cuantitativa) ni racionalidad lógico-formal irrefutablemente demostrada de una vez y para siempre, sino que pretende establecer algunos criterios mínimos de evaluación y ponderación de elementos científicos y políticos respecto al cambio climático antropogénico a partir de los cuales sea posible generar diversas interpretaciones y propuestas teóricas—incluso prácticas—ante uno de los problemas socioambientales más apremiantes para las sociedades del siglo XXI.

Capítulo 1

Breve historia de la ciencia del cambio climático antropogénico

Resumen: El conocimiento científico sobre el cambio climático antrópico es resultado de por lo menos dos etapas epistémicas en su historia: la postulación plausible de un cambio geofísico de escala planetaria y la posterior determinación de las características específicas de ese cambio. A finales del siglo XVIII e inicios del XIX el cambio climático fue propuesto como hipótesis explicativa para resolver el enigma de las glaciaciones, misterio que al resolverse hizo necesario explicar cómo ocurren los cambios en el clima. Desde el primer tercio del siglo XIX se desarrollaron al menos dos grandes teorías de las causas del cambio climático: (1) cambios orbitales y rotacionales de la Tierra; (2) cambios de la composición química de la atmósfera terrestre. Ambas teorías se mostraron complementarias durante el siglo XX. Con la obra de Guy Stewart Callendar y debates subsiguientes se hizo plausible la noción de un cambio climático causado por las emisiones antrópicas de CO₂. Ante numerosas revisiones de la evidencia disponible por parte de equipos científicos así como de instituciones nacionales e internacionales, tras décadas de controversias, en 2007 se confirmó la existencia inequívoca de un cambio climático causado por los seres humanos.

Palabras clave: *Glaciaciones, cambio climático natural, ciclos orbitales, gases de efecto invernadero, cambio climático antropogénico*

El conocimiento científico sobre el cambio climático es resultado de un proceso que ha variado temáticamente a lo largo del tiempo. Existen por lo menos dos grandes líneas narrativas para reconstruir históricamente la ciencia del cambio climático: (1) la descripción de los componentes del clima con especial énfasis en los gases de efecto invernadero (GEI); (2) revisar las respuestas surgidas tras controversias científicas. En este capítulo optamos por la segunda alternativa en tanto que permite evitar el presentismo, es decir, evita que la reconstrucción histórica termine guiada por el entendimiento actual del asunto.¹

¹ “Presentism in history is a flaw wherein the social and political concerns of the present that provide the motivation for tackling a certain historical subject matter overdetermine interpretations of the past. It is a form of confirmation bias.” (Howe, 2017, p. 8).

Centrarse en los componentes del clima y en las prácticas e instrumentos científicos que han permitido conocerlos conduce usualmente a una narrativa en torno a los aportes científicos del ámbito anglosajón y a enfocarse solamente en el aumento de las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂) de origen humano.² Por otro lado, el centrarse en las controversias científicas permite dar cuenta de la multiplicidad de hipótesis, problemas científicos de diversas disciplinas, técnicas instrumentales y entidades de diversas regiones y ciencias involucradas en la producción de conocimiento científico sobre el cambio climático.³

Conviene hacer desde ahora una distinción fundamental para esta historia: el estado del tiempo y el clima son dos entidades diferentes, aunque relacionadas, cuyo conocimiento científico ha seguido trayectorias históricas diferentes. La meteorología estudia el conjunto de meteoros, temperie o estado del tiempo, *i.e.*, los fenómenos y las condiciones atmosféricas en un lugar y tiempo específico (no mayor a treinta días), (Ahrens y Henson, 2016, p. 17). Es decir, los meteoros son fenómenos que tienen lugar fundamentalmente en la atmósfera. Por otro lado, la climatología en sus diferentes ramas describe, explica y predice el clima en diferentes horizontes temporales (desde un mes hasta milenios) a partir de datos climatológicos y de modelos fisicomatemáticos (Garduño, 2018, pp. 18-19):

El clima son las condiciones promedio, para extensos periodos, de las temperaturas, las precipitaciones, la velocidad de los vientos y la humedad de un lugar o región, y que pueden presentar una determinada tendencia. Más técnicamente hablando, el clima se puede definir como el estado de las condiciones promedio del sistema atmósfera-oceano-tierra, que usualmente describimos como condiciones promedio del clima.

(Molina, Sarukhán y Carabias, 2017, p. 31).

Las observaciones meteorológicas se remontan por lo menos a la Antigüedad, mientras que el conocimiento climatológico difícilmente supera los 400 años de existencia en tanto que determinar las condiciones promedio de la temperie de un lugar o región requiere

² Por ejemplo, la historia escrita por Joshua P. Howe: “I focus on CO₂ because until recently the history of global warming has been primarily the history of the CO₂ problem. Even today, despite carbon dioxide’s relative lack of warming power, its connection with the fossil fuels at the center of the global economy makes it the most important —and difficult— greenhouse gas to mitigate. Its persistence as a key unit of climate science underscores its centrality.” (Howe, 2014, p. 14).

³ Por ejemplo, la historia escrita por Spencer Weart: “Who made the discovery of global warming—that is to say, the discovery that human activities have begun to make the world warmer? No one person, but a number of scientific communities. Their achievement was not just to accumulate data and perform calculations, but also to link these together. This was obviously a social process, the work of many people interacting with one another. [...] The discovery of global warming was patently a social product, a consensus of judgments arising in countless discussions among thousands of experts.” (Weart, 2003, p. 196).

observaciones y registros empíricos e instrumentales que sean constantes y sistemáticos, además de conocer las diferentes relaciones entre diferentes elementos biogeoquímicos. Una empresa científica semejante sólo es posible si una parte de las sociedades humanas considera relevante prestar atención a ciertos fenómenos que, de otro modo, se considerarían estables.

Hacer una historia del cambio climático como problema científico implica distinguir por lo menos tres elementos: (1) la historia de la idea, concepto o teoría de un clima cambiante; (2) la historia del desarrollo de explicaciones de ese cambio a través de mecanismos o impulsores específicos —físicos, químicos, geológicos, biológicos, etc.—; (3) la evidencia de los cambios climáticos así como de la existencia y funcionamiento de sus mecanismos e impulsores. Es imposible hacer una historia “pura” de cada uno de esos elementos dado su desarrollo conjunto o paralelo, sin embargo, una historia basada en las controversias científicas facilita la distinción de los acentos puestos en cada uno de esos tres factores a lo largo de su interrelación histórica.

1.1 El enigma de los bloques erráticos (*findlinge*)

La idea científica de un clima cambiante es resultado de una larga controversia que comenzó con un misterio: explicar el origen de los bloques erráticos (*findlinge*, por su nombre en alemán): rocas monolíticas de cientos de toneladas de peso y de materiales poco usuales respecto a sus regiones aledañas, generalmente redondeadas y con ubicaciones aparentemente azarasas en diversas partes de la zona más septentrional de Europa y América (*vid.*, **Fig. 1.1**).

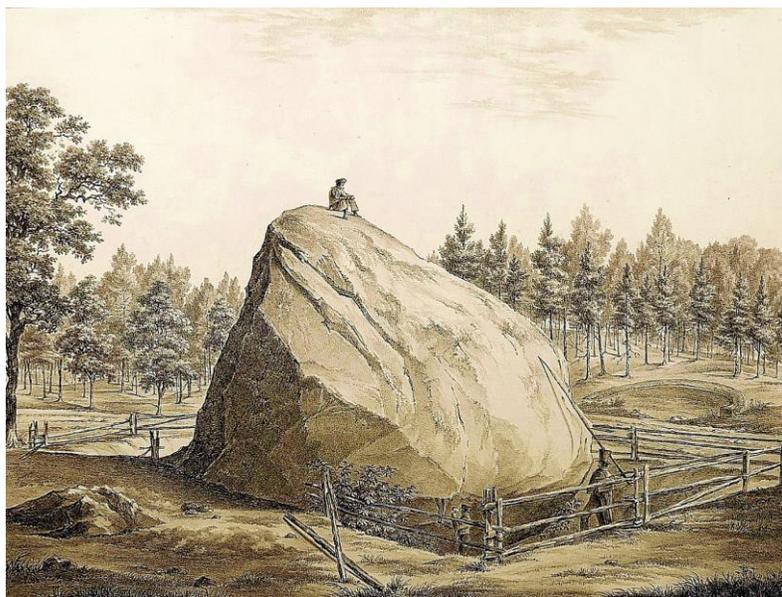


Fig. 1.1
Litografía de 1827
hecha por Julius
Schoppe del mayor de
los dos bloques erráticos
de grandes dimensiones
de la región de
Brandemburgo,
Alemania, denominados
Rocas del Margrave
(*Markgrafensteine*).
Fuente:
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/34/Schoppe-Markgrafenstein.jpg>

El origen de dichas rocas comenzó a aclararse en el siglo XVIII a medida que las regiones montañosas de Europa comenzaron a ser visitadas y estudiadas por viajeros, ingenieros y científicos.⁴ En 1744, el ingeniero y geógrafo ginebrino Pierre Martel, tras una visita a los Alpes y recoger el conocimiento local sobre el transporte de rocas por el glaciar du Bois en el valle de Chamonix, Francia, sugirió la relación entre los movimientos de los glaciares y la ubicación de los bloques erráticos (Krüger, 2013, p. 47). En las décadas siguientes la investigación sobre los glaciares se profundizó —teniendo en el ginebrino Horace-Bénédict de Saussure a uno de sus principales estudiosos— y alimentó el desarrollo de ideas no catastrofistas del origen de la Tierra.

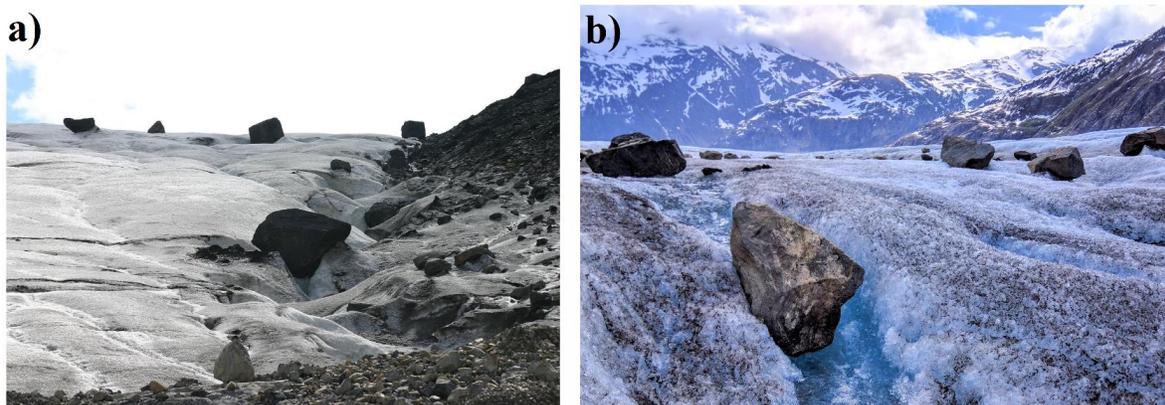


Fig. 1.2 Rocas transportadas por glaciares.

Fuentes: a) Wing-Chi Poon (2006):

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/54/Glacial_Transportation_and_Deposition.jpg/1280px-Glacial_Transportation_and_Deposition.jpg b) Matt Gross:

https://unsplash.com/photos/u9bzHO_Va_E.

En 1795, el escocés James Hutton, considerado el fundador de la geología moderna, propuso la hipótesis de que el planeta Tierra es un gran mecanismo autorregulado mediante procesos estables y constantes, tales como la sedimentación y la erosión, y por lo tanto, los bloques erráticos serían resultado de la erosión hecha por grandes glaciares, (*vid.*, **Fig. 1.2**), teoría ampliada y pulida con observaciones empíricas hechas por su amigo y discípulo John Playfair (Krüger, 2013, pp. 61 y ss.). Las hipótesis alternativas afirmaban que los *findlinge* habrían sido

⁴ En esta y la siguiente sección nos apegamos a la obra *Discovering the Ice Ages* de Tobias Krüger (2013) por ser una completa y detalla historia de las controversias en torno a las glaciaciones, tema que originó la investigación científica de un clima cambiante. Debido a su erudito manejo de fuentes europeas de difícil acceso, resulta una obra imprescindible y excepcional respecto a otras obras de historia de la ciencia del cambio climático.

depositados en sus sitios por una inundación súbita de proporciones gigantescas o por actividad volcánica explosiva durante la formación del planeta. Sin embargo la evidencia empírica, tal como el descubrimiento en 1796 de antiguas morrenas en los cantones suizos,⁵ hizo más plausible la hipótesis del origen glaciario de los bloques erráticos (Krüger, 2013, p. 67). Cabe resaltar que dicha hipótesis era únicamente regional y la existencia de los *findlinge* en zonas que actualmente carecen de glaciares, por ejemplo, algunas regiones alemanas, bálticas y norteamericanas, no tenían una explicación unificada en tanto que en esa época no se podía imaginar aún un proceso geofísico de escala planetaria.

1.2 El enigma de las glaciaciones

El misterio de los bloques erráticos impulsó el desarrollo de la glaciología como disciplina autónoma entre 1750 y 1850 (Birkhold, 2019, p. 195). En 1773 el jesuita Joseph Walcher sugirió la posible relación entre fluctuaciones climáticas y los avances y los retrocesos de los glaciares (Krüger, 2013, p. 83). Casi medio siglo después, el ginebrino Marc-Auguste Pictet en 1816 descubrió que existía una relación entre la tasa de deshielo y la tasa de flujo continuo de descenso del hielo de los glaciares alpinos, relación dependiente de la temperatura local (Krüger, 2013, p. 78). Sin embargo, esto no desembocó en una teoría de cambios del clima ya que aún no se relacionaba la existencia de hielo con condiciones climáticas específicas.

Una de las primeras teorías que apuntaban a épocas glaciares en tiempos prehistóricos en el norte de Europa fue la del danés Jens Esmark quien encontró evidencia de morrenas terminales a nivel del mar en Noruega, lo que sugería que en tiempos remotos hubo en esas regiones grandes glaciares que, al erosionar el paisaje, formaron los fiordos de la región báltica. Esmark publicó en 1824 su teoría de una época glacial prehistórica en Escandinavia que podría haber sido análoga a la ocurrida en la región de los Alpes (Hestmark, 2018, p. 8).

Esmark retomó la explicación de una baja de temperaturas capaz de crear grandes capas de hielo de la obra del inglés William Whiston quien sostenía que los planetas habían sido en sus orígenes cometas que al establecer una órbita elíptica fija en torno al Sol experimentaban periodos sucesivos de enfriamiento y calentamiento debido a la forma de su órbita. Esmark razonó que en el afelio —punto más distante de la órbita de un planeta respecto al Sol— se

⁵ Las morrenas son depósitos de materiales erosionados por el movimiento glaciario.

produciría el congelamiento del agua en la Tierra, lo cual habría sido la causa de las glaciaciones en Escandinavia (Hestmark, 2018, p. 8; Krüger, 2013, pp. 91-94).

Quizás la primera investigación científica encaminada a determinar si existían cambios en el clima de una región específica fue la promovida por la Sociedad Científica Suiza en 1816 cuando estableció un premio de 600 francos a quien pudiera resolver la cuestión de si las partes altas de los Alpes se habían vuelto más frías.⁶ La respuesta directa y sustentada a esa pregunta la ofreció el ingeniero civil Ignaz Venetz en 1822 quien afirmó que los aumentos y descensos periódicos de temperatura eran la causa del avance y retroceso de los glaciares alpinos.⁷

Venetz, en sucesivas revisiones a su memoria ganadora del premio de la Academia Suiza, avanzó la idea de que en el pasado toda la región alpina y nortueuropea estuvo cubierta de grandes glaciares (Krüger, 2013, pp. 101 y ss.). En 1843 publicó un artículo sobre los glaciares en el macizo del Jura en el cual, a partir de los restos de antiguas morrenas separadas por grandes capas de otros sedimentos, afirmó la pasada existencia de distintas épocas glaciares alpinas seguidas por periodos cálidos, o interglaciares. Venetz, en su última obra, publicada póstumamente, teorizó la existencia pasada de cuatro épocas glaciares sucesivas en la región de los Alpes (Krüger, 2013, pp. 107-108).⁸ Las teorías de Venetz fueron continuadas por su colega y compatriota Jean de Charpentier quien en 1841 afirmó que la posible causa de un enfriamiento capaz de crear glaciares alpinos masivos eran los diversos cambios astronómicos que sufre el planeta Tierra.⁹

Un cambio en la noción de la escala de los glaciares del pasado fue dado por Karl Friedrich Schimper, quien estudió botánica a la par que crecían sus inquietudes por los bloques erráticos

⁶ De acuerdo con Tobias Krüger la pregunta original fue: «Ist es wahr, dass die hohen schweizerischen Alpen seit einer Reihe von Jahren wirklich rauher und kälter geworden sind?» *Naturwissenschaftlicher* 1817/18, 35.” (Krüger, 2013, p. 98, n. 53).

⁷ En el veredicto de entrega del premio a Venetz se encuentra quizá una de las primeras expresiones científicas cercanas al entendimiento contemporáneo del término “cambio climático”: “[...] der Versammlung zu Genf ausgeschriebenen Preisfrage: über **die Veränderung des Klimas** in den Alpen [...]” (Krüger, 2013, p.100, n. 63, énfasis añadido).

⁸ Matthew H. Birkhold (2019) afirma que el conocimiento empírico y creencias tradicionales de los habitantes de las regiones alpinas son las fuentes originales de la teoría de las glaciaciones sobre la cual sólo algunos de los primeros investigadores en el siglo XVIII dieron cuenta y que sin la transmisión de ideas del cazador Jean-Pierre Perraudin a Ignaz Venetz éste no habría desarrollado la teoría de las glaciaciones. El autor afirma que en la medida en que los investigadores comenzaron a citar mutuamente sus trabajos escritos se fue olvidando la importancia de las observaciones locales y, con ello, su valor epistémico.

⁹ «comme par exemple un changement de l'écliptique, la précession des équinoxes, la progression du système planétaire dans l'espace, les astéroïdes d'Août et de Novembre, etc.» Quoted from Bard 2004, 610.” (Krüger, 2013, p. 154, n. 55).

y antiguas morrenas en diferentes lugares de Europa. Schimper consideró que el transporte de los *findlinge* se debía a los glaciares que avanzaban y retrocedían según periodos de fluctuación entre inviernos y veranos *globales* —no sólo regionales— que correspondían a etapas de actividad geológica y biológica en tiempos cálidos, y periodos de estancamiento por un progresivo enfriamiento debidos a un principio natural de autoorganización (Krüger, 2013, pp. 157, 170). Las ideas de Schimper repercutieron en su antiguo compañero de estudios, el prolífico y controversial naturalista suizo Louis Agassiz, con quien coincidirá de nuevo hacia 1836.

Agassiz, influido por el catastrofismo de George Cuvier, al igual que por su fe en el discurso bíblico del “Génesis”, se interesó por los efectos de las glaciaciones sobre la evolución de la vida (Krüger, 2013, pp. 171, 188). A partir de sus observaciones, Agassiz teorizó que los bloques erráticos no se encontrarían en ubicaciones azarosas sino precisamente en valles donde fueron transportados por enormes glaciares en el pasado (Krüger, 2013, p. 165).

Agassiz y Schimper desarrollaron en 1837 la teoría de que alguna vez gran parte del hemisferio Norte estuvo cubierto en diversas ocasiones por enormes capas de hielo, las cuales habrían transportado los bloques erráticos tanto en las regiones centrales y norteeuropeas, Escandinavia, Asia y en Norteamérica. Dichas glaciaciones habrían sido el final frío de épocas cálidas con climas estables que habrían ocurrido más de una vez en el pasado (Krüger, 2013, p. 178). Agassiz y Schimper eran partidarios del vulcanismo, es decir, la teoría del origen de la Tierra mediante procesos geoquímicos dependientes del calor, y afirmaron que las glaciaciones daban paso a épocas templadas debido a reacciones de oxidación de metales por la filtración de las aguas oceánicas en el fondo marino, reacciones que liberarían grandes cantidades de energía que elevarían las montañas y calentarían la atmósfera. Sin embargo la tendencia global sería al enfriamiento, así que cada nueva época interglacial sería menos cálida que la anterior (Krüger, 2013, p. 180). El término “era de hielo” se atribuye a un poema de Schimper escrito para promocionar las lecturas de Agassiz (Birkhold, 2019, p. 195, n. 4).¹⁰

¹⁰ “The expression *Eiszeit*—«ice age»—appeared for the first time in this poem of 22 stanzas as an introduction to Schimper’s and Agassiz’s jointly developed glacial theory.” (Krüger, 2013, p. 172):

“Die Eiszeit

Wissenschaftliches Document, zum erstenmal abgedruckt und in fliegenden Blättern
ausgetheilt in Neuschatel am Geburtstage Galilei’s 1837.

[...]” (Citado en Krüger, 2013, p. 174, n. 38).

1.3 Teoría orbital y teoría de la química atmosférica como origen de los cambios del clima

La controversia respecto al origen de los bloques erráticos desembocó en el estudio de los glaciares alpinos, lo cual fue condición necesaria para la síntesis teórica y terminológica de las glaciaciones —o eras de hielo— hacia el primer tercio del siglo XIX. Las causas de un enfriamiento planetario o hemisférico, empero, aún eran desconocidas y enfrentaban de manera indirecta a dos grandes hipótesis sobre el origen de la Tierra que también lidiaban contra el discurso religioso cristiano de la concepción del mundo: por un lado, la defensa de un origen frío, acuoso, gradual y lento —el neptunismo— y, por el otro, los vulcanistas y catastrofistas que defendían la noción de cambios abruptos en el pasado previo a la humanidad. El clima sólo comenzó a considerarse como un factor clave en los procesos planetarios cuando el foco pasó de la hipótesis de las eras de hielo prehistóricas a la búsqueda de los mecanismos e impulsores que las causaron.

Con la progresiva expansión de la teoría de las glaciaciones surgieron adeptos y críticos. En 1818 el sueco Göran Wahlenberg sostuvo la hipótesis de una era de hielo en el norte de Europa y quizás fue el primero en interrelacionar explícitamente las bajas temperaturas con los avances de los glaciares y éstos con el transporte de bloques erráticos (Krüger, 2013, p. 329). En tanto que la formación de hielo y nieve requiere de condiciones frías, se especuló sobre la magnitud en los cambios de temperatura necesarios para generar las grandes masas de hielo teorizados. En 1841 el francés Jean Jacques Marie Augustin Leblanc calculó que sólo bastaba un cambio entre 5 y 10 °C para generar las cantidades de nieve compatibles con las evidencias geológicas y no los -60 °C que algunos de sus contemporáneos sugerían (Krüger, 2013, p. 203).

Si bien a mediados del siglo XIX se contaba con la teoría de las glaciaciones y la cantidad de grados centígrados de temperatura necesarios para desencadenarlas, faltaba aún determinar qué mecanismos e impulsores estarían detrás de cambios geofísicos de tales magnitudes. Dos teorías, entre otras, ofrecían las explicaciones más plausibles: (1) la teoría de los cambios orbitales y rotacionales de la Tierra, una teoría más bien mecánica que sostiene que al cambiar la forma de la órbita, la distancia respecto al Sol y el ángulo del eje de rotación de la Tierra respecto a su plano de traslación, entonces cambia la cantidad de energía recibida del Sol; (2) la teoría de los cambios de la composición química de la atmósfera terrestre y la cantidad de calor absorbido por los gases presentes en ella. A continuación presentamos un breve recuento

cronológico de los hitos principales de esas teorías que, en palabras de James Rodger Fleming, han tenido auges, eclipses y resurgimientos (Fleming, 2006, pp. 50-51).

Desde finales del siglo XVII, Robert Hooke hipotetizó que los fósiles de seres marinos indicaban la existencia de periodos geológicos pasados más cálidos que podrían haber sido causados por cambios en el eje de rotación de la Tierra, sin embargo, no profundizó en esta idea (Krüger, 2013, p. 399). Durante el primer tercio del siglo XIX comenzaron a surgir hipótesis más detalladas respecto a la influencia de los movimientos orbitales y rotacionales del planeta y su temperatura. Karl Friedrich Klöden publicó en 1823 “Sobre la forma de la Tierra y su prehistoria”, libro en el que afirmó un descenso súbito de la temperatura terrestre en el pasado causado por un cambio en el eje de rotación del planeta (Krüger, 2013, p. 169). Un año después, como se señaló anteriormente, Jens Esmark publicó un artículo en el que afirmaba que una órbita muy elíptica en el pasado habría alejado a la Tierra del Sol lo suficiente para congelar el agua superficial y que, al ir adquiriendo una órbita más circular y reducir la distancia a la estrella, el agua se descongeló provocando así el movimiento del hielo que originó los fiordos bálticos (Krüger, 2013, p. 399). Dichas teorías no pudieron verificarse con los recursos teóricos, instrumentales u observaciones de la época, además, existía la creencia muy extendida de que el clima del pasado fue cálido y que la vida floreció en la medida en que el planeta se enfriaba gradualmente (Krüger, 2013, p. 401).

Contando como antecedentes los trabajos sobre los movimientos orbitales de Pierre Simon de Laplace sobre los límites de la excentricidad de la órbita y el de William Herschel sobre los cambios en la eclíptica y su influencia en el clima (Krüger, 2013, pp. 400-401), Joseph Alphonse Adhémar desarrolló una teoría, aparecida en su libro de 1842 *Révolutions de la mer*, que afirmaba que la combinación de los movimientos de precesión —un bamboleo del eje de rotación a lo largo de la órbita terrestre— y los movimientos sobre la eclíptica —oscilaciones del eje de rotación respecto al plano horizontal respecto al Sol— generaban un ciclo de 21 000 años, causante directo de las eras de hielo en tanto que, suponía Adhémar, cambiaba la duración de los inviernos en cada hemisferio y, con ello, la cantidad de horas de luz de día y oscuridad nocturna, lo cual cambiaría la temperatura hemisférica —uno permanecería cálido mientras que otro entraría en una glaciación— (Krüger, 2013, pp. 402-406). Si bien algunos de sus supuestos eran incorrectos, y algunas hipótesis exageradas, la teoría de Adhémar fue un paso necesario para el desarrollo posterior de los cálculos de los ciclos orbitales (*vid. infra*).

En 1845 el ingeniero francés Jacques-Joseph Ébelmen reparó en el hecho de que el ciclo del carbono planetario, que incluye la respiración de seres vivos, la meteorización de rocas, actividades volcánicas y actividades productivas humanas, regula la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, mientras que el ciclo del azufre —vía formación y meteorización de piritita— determina la cantidad de oxígeno (O₂) atmosférico (Krüger, 2013, p. 418; Berner, 2012, pp. 544 y ss.).¹¹ Partidario de una visión catastrofista, consideró que en el pasado el planeta debió contener más CO₂ y, por tanto, ser más cálido.¹² Si bien Ébelmen fue reconocido por sus logros en la industria química francesa, la determinación de las reacciones involucradas en el ciclo del carbono lo convierten en uno de los pioneros, generalmente ignorado, de la teoría química de la atmósfera como causa del cambio climático.

En la década de 1850 el irlandés John Tyndall publicó trabajos sobre glaciares y, motivado por su creencia de que las glaciaciones tuvieron orígenes meteorológicos, se dedicó a estudiar la capacidad de diferentes gases atmosféricos para absorber radiación. Sus experimentos hacia 1859 mostraron que mientras los gases elementales no absorbían radiación, las moléculas compuestas, tales como el CO₂ o el vapor de agua, sí lo hacían. Tyndall consideró que la cantidad del vapor de agua era el factor determinante de la temperatura promedio de la superficie terrestre aunque razonó que un cambio en la cantidad de gases traza en la atmósfera podría desencadenar una glaciación (Krüger, 2013, pp. 419-420).¹³

El escocés James Croll, de origen humilde y de formación prácticamente autodidacta, siendo conserje del Colegio y Museo Andersoniano de Glasgow —hoy universidad de Strathclyde—, hacia 1864 leyó el libro de Adhémar y, sobre la base del trabajo matemático de Joseph Louis Lagrange y el descubrimiento de Urbain Le Verrier¹⁴ de la excentricidad de la órbita terrestre —el cambio de la forma de la órbita de la Tierra en torno al Sol entre formas

¹¹ «Les variations dans la nature de l'air ont été sans doute constamment en rapport avec les êtres organisés qui vivaient à chacune de ces époques.» Ébelmen 1845, 66.” (Krüger, 2013, p. 417, n. 63).

¹² «Plusieurs circonstances tendent néanmoins à prouver qu'aux anciennes époques géologiques, l'atmosphère était plus dense et plus riche en acide carbonique et peut-être en oxygène, qu'à l'époque actuelle. Les variations dans la nature de l'air ont été sans doute constamment en rapport avec les êtres organisés qui vivaient à chacune de ces époques» (Ébelmen citado en: Berner, 2012, p. 547).

¹³ Joshua Howe considera que es un error afirmar que Tyndall estaba motivado por un interés en el efecto invernadero pues, a su juicio, tras sus experimentos y publicaciones a inicios de la década de 1860 Tyndall intentaba fortalecer su teoría mecanicista y atomista del calor contra el auge de la escuela termodinámica (Howe, 2017, p. 22).

¹⁴ Urbain Le Verrier hizo cálculos de las trayectorias y masas de los planetas, lo cual le permitió predecir en 1846 la ubicación de un planeta hasta entonces desconocido: Neptuno.

elípticas y circulares—, estimó que los cambios orbitales podrían ser la causa de las glaciaciones debido a su lento y constante cambio cíclico bajo la influencia gravitatoria de los otros planetas del sistema solar (Krüger, 2013, p. 409). Croll consideró que la precesión de los equinoccios no tenía efectos sobre la cantidad de energía en la superficie terrestre, no así una órbita altamente excéntrica que alejaría al planeta del Sol provocando inviernos más fríos, con mayor cobertura de nieve y aumento de la cantidad de luz reflejada por la cobertura de hielo —albedo—, lo cual, junto a la transferencia de calor por corrientes marinas y vientos, generaría un proceso de retroalimentación que desembocaría en las glaciaciones en un hemisferio, causando condiciones interglaciares en el otro de manera alternada (Krüger, 2013, pp. 411 y ss.; Fleming, 2006, p. 47). Croll sentó así las bases de una sólida teoría de cambios climáticos causados por movimientos orbitales al rechazar las teorías previas —*i.e.* las teorías que afirmaban que el planeta estaba en un continuo enfriamiento desde su origen o que el eje de rotación tenía giros súbitos o que la Tierra atravesaba regiones cálidas y frías del universo (Fleming, 2006, p. 47)—. Quizás el mayor mérito de la teoría de Croll radica en su refinamiento explicativo de los mecanismos físicos causales del cambio climático a partir de los diversos factores y evidencias con las que contaba, pues Croll no presentó una vinculación simplista entre cambios orbitales y las glaciaciones, sino una elaborada explicación de cómo los primeros influían causalmente en una serie de elementos geofísicos que en sus interacciones y retroalimentaciones causarían intercambios de temperatura y cambios en el clima suficientes para detonar las glaciaciones (*vid.*, Fig. 1.3).

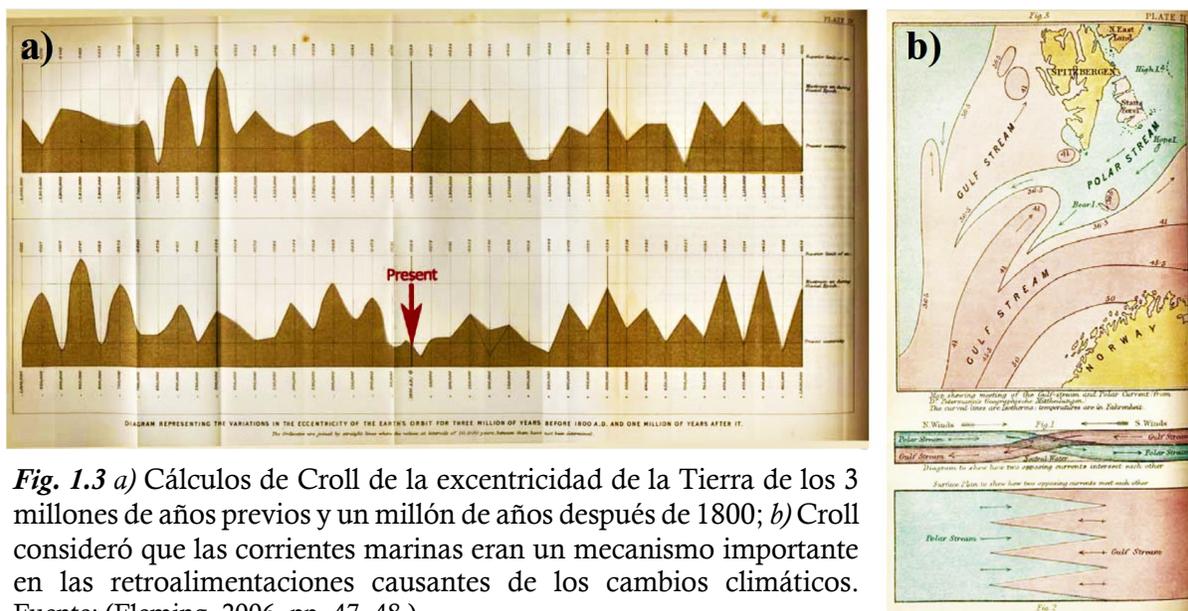


Fig. 1.3 a) Cálculos de Croll de la excentricidad de la Tierra de los 3 millones de años previos y un millón de años después de 1800; b) Croll consideró que las corrientes marinas eran un mecanismo importante en las retroalimentaciones causantes de los cambios climáticos. Fuente: (Fleming, 2006, pp. 47, 48.)

A finales del siglo XIX la teoría de las eras de hielo había tenido ya bastante éxito en los países escandinavos y en 1893, en una reunión de la Sociedad de físicos de Suecia, el meteorólogo Nils Ekholm disertó sobre las posibles causas físicas, meteorológicas y astronómicas capaces de desencadenar una glaciación. Gustav Högbom especuló sobre la relación del CO₂ y la temperatura atmosférica, idea que presentó ante la Sociedad Sueca de Química y que, al parecer, inspiró a su alumno Svante Arrhenius (Krüger, 2013, p. 426) a realizar los cálculos a partir de ecuaciones de un modelo simple de atmósfera, sobre la relación entre concentración atmosférica de CO₂ y la temperatura de la superficie terrestre. Se atribuye a Arrhenius ser el primer científico en usar el término de “efecto invernadero” para nombrar dicha relación, aunque su principal intención era resolver el problema de las glaciaciones.¹⁵

En 1895 Arrhenius presentó a la Academia Sueca de Ciencias una memoria con sus cálculos que indicaban que las concentraciones del doble y el triple de CO₂ atmosférico podrían producir una diferencia de temperatura promedio de la superficie terrestre de entre 4.95 °C y 9.5 °C en diversas latitudes, lo cual concordaba con la hipótesis establecida por Leblanc en 1841 de que una disminución en la temperatura de entre 5 °C y 10 °C causó las glaciaciones. Un resumen de su trabajo, en forma de artículo, se publicó en inglés al año siguiente (Arrhenius, 1896). Empero, los valores de absorción de radiación del CO₂ utilizados por Arrhenius no fueron aceptados unánimemente y fueron puestos en duda a principios del siglo XX ante nuevos datos experimentales de Knut Ångström, William Jackson Humphreys y Charles Greely Abbot, lo cual supuso un eclipse momentáneo de la teoría de la química atmosférica como origen del cambio climático desencadenante de las glaciaciones. Habría que esperar hasta finales de la década de 1920 para un nuevo impulso de la teoría.

Vladimir Ivanovich Vernadsky publicó en 1926 su libro *La biosfera* en el que afirmaba que la totalidad de los seres vivos en la Tierra conforman un sistema integral materialmente unificado (Lapo, 2001, p. 47), por ello, Vernadsky consideraba que la vida es en sí una fuerza geológica que influye en la concentración atmosférica de oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono (McNeill y Engelke, 2014, pp. 72-73).

¹⁵ “Arrhenius was most concerned with using the model to suggest that reduce CO₂ accompanied—and potentially caused—the then recently discovered ice age of the geologic past.” (Howe, 2017, p. 39). “Arrhenius had not discovered global warming, but only a curious theoretical concept.” (Weart, 2003, p. 7). “It is mostly overlooked that he had constructed his model in another context than the one in which it is now framed. As the prehistory of his research and the issue it addressed clearly show, Arrhenius’s focus was on trying to solve the conundrum of the ice ages.” (Krüger, 2013, p. 433).

Entre las décadas de 1920 y 1940, el ingeniero y matemático serbio Milutin Milankovitch, a partir de más de treinta años de estudio del trabajo de Croll, fue el primero en desarrollar una teoría cuantitativa de las diversas glaciaciones del Pleistoceno a causa de los cambios de insolación por variaciones en los ciclos orbitales y rotacionales, es decir, por las variaciones en la forma de la órbita, la distancia y la orientación de la Tierra con respecto al Sol y que influyen en la cantidad de insolación recibida en la superficie terrestre. La cantidad de energía absorbida, reflejada y radiada por la superficie terrestre determina su temperatura promedio y, así, el clima del planeta. El trabajo de Milankovitch fue la mayor síntesis de las ideas previas sobre los cambios orbitales y actualmente sigue siendo fundamental para la comprensión de los impulsores astronómicos del cambio climático. Las estimaciones de Milankovitch fueron:

- *Excentricidad de la órbita*: cambio de forma de la órbita terrestre en torno al Sol entre una forma elipsoidal y una más redonda, afectada por la gravedad de los demás planetas del Sistema Solar. Ciclo de duración aproximada de 100 000 años.
- *Oblicuidad*: oscilación del eje de rotación de la Tierra respecto al plano de su órbita en torno al Sol entre los 21.5° y los 24.5° de inclinación. Ciclo de aproximadamente 41 000 años.
- *Precesión de los equinoccios*: bamboleo del eje de rotación del planeta. Ciclo de aproximadamente 21 000 años de duración. (Ruddiman, 2006), (*Vid., Fig. 1.4*).

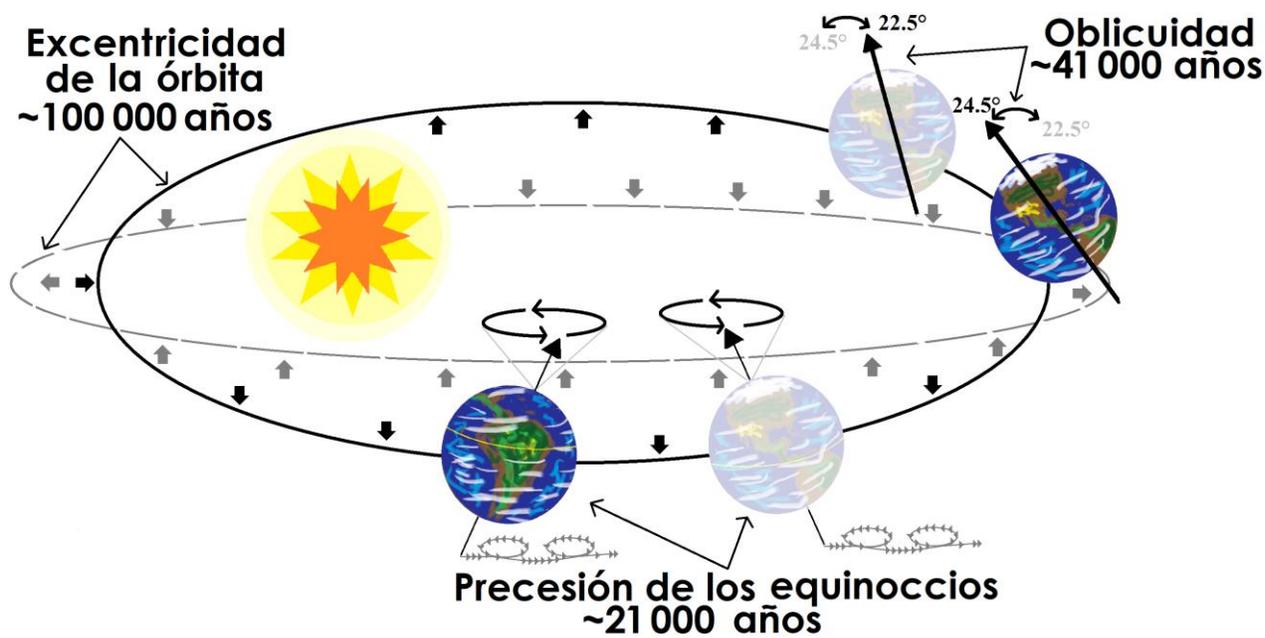


Fig. 1.4 Ciclos orbitales del planeta Tierra y su duración estimada por Milankovitch.
Fuente: elaboración propia.

A pesar de las objeciones al trabajo de Arrhenius, la teoría de los cambios en la composición química de la atmósfera no se abandonó. En 1938 el ingeniero y meteorólogo aficionado inglés Guy Stewart Callendar publicó su artículo “Producción artificial de dióxido de carbono y su influencia en la temperatura” en el cual, a partir de datos del Atlántico norte sobre las concentraciones de CO₂ en la atmósfera terrestre, calculó que dicho gas sí provocaba cambios en la temperatura promedio de la superficie de la Tierra con subsecuentes efectos en el clima y, aún más, afirmó que las temperaturas se estaban incrementando debido al aumento de las emisiones de CO₂ provenientes de la quema de combustibles fósiles.

De acuerdo con Callendar, entre 1887 y 1937 las actividades industriales humanas habían emitido 150 millones de toneladas de CO₂, de las cuales sólo una cuarta parte habría sido absorbida por los océanos, las plantas o la formación de carbonatos. Según sus cálculos, la radiación infrarroja absorbida y reflejada por tales cantidades de dióxido de carbono atmosférico deberían haber aumentado la temperatura promedio de la superficie terrestre en +0.15 °C durante esos 50 años, pero los datos de 200 estaciones climatológicas en diversas partes del mundo (exceptuando las latitudes polares porque se carecía de datos climáticos de la Antártida para una evaluación contrastada y rigurosa con los datos del Ártico) indicaban un aumento aún mayor del calculado: +0.21 °C (Callendar, 1938, p. 235), (*vid.*, **Fig. 1.5**). Si bien el artículo de Callendar despertó poco interés entre sus contemporáneos, dio un giro importante a la teoría de la química atmosférica como impulsor del cambio climático al señalar por primera vez que el dióxido de carbono de origen antrópico jugaba un papel en el aumento de la temperatura promedio de la superficie terrestre en el siglo XX.

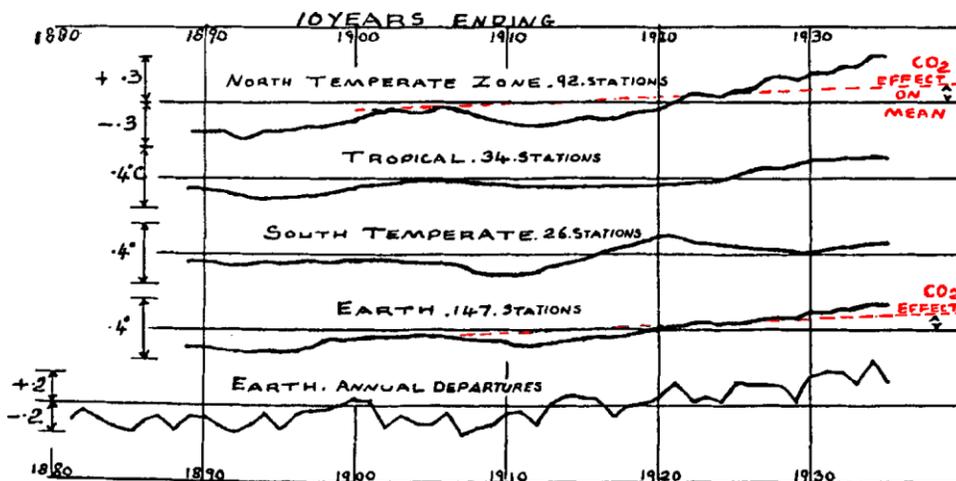


Fig. 1.5

Variaciones de la temperatura promedio de la superficie terrestre registrada en diferentes regiones del planeta durante el periodo 1880-1930 con las estimaciones del aumento debido al CO₂ de origen antrópico (énfasis añadido en rojo). Fuente: (Callendar, 1938, p. 233, énfasis añadido).

1.4 La ciencia del cambio climático desde la segunda mitad del siglo XX

Como se ha visto hasta aquí, tanto la idea científica así como los conocimientos sobre los posibles impulsores del cambio climático hasta inicios del siglo XX fueron el resultado de las controversias sobre las glaciaciones, no porque el clima haya sido el objeto de estudio primario, sino que cobró relevancia como el mecanismo generador de las grandes masas de hielo que se consideraron las causas científicas de las grandes transformaciones geológicas del pasado reciente de la Tierra.¹⁶ Ese conocimiento científico sobre el cambio climático desarrollado hasta antes de 1945, podríamos decir con Joshua P. Howe (2017, p. 21), constituye la “prehistoria” de la ciencia del cambio climático en tanto que el clima no era en sí mismo un objeto principal de estudio.

Podría decirse que el nacimiento de la “historia” contemporánea de la ciencia del cambio climático es la década de 1940 ya que, después de la Segunda Guerra Mundial y tras atestiguar el enorme valor práctico, político y militar del conocimiento climático (Aspray, 1990, p. 129), ocurrió una transformación en el interés científico y la profesionalización de su estudio dando origen a instituciones de cooperación internacional. En 1947, en la Convención Meteorológica Mundial, se reconoció la importancia del clima y la necesidad del estudio meteorológico de una manera intergubernamental, lo cual, a su vez, desembocó en 1951 en la conformación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, o bien WMO por sus siglas en inglés) que posteriormente se convirtió en una agencia de la ONU (Weart, 2003, p. 32).

Pese al creciente interés científico por el clima, aún hasta mediados del siglo XX no existía una adecuada cuantificación instrumental de los diversos factores involucrados en el clima y dominaban los “[...] principios establecidos en 1888 por el químico francés Henri Le Châtelier, quien había enunciado que cualquier sistema en equilibrio que era perturbado respondía de forma tal que sus componentes tendían a restablecerlo.” (Schifter y González-Macías, 2015, p. 99).

Los descubrimientos de evidencias de los cambios en el clima y de sus impulsores proliferaron durante la década de 1950 a partir del desarrollo de técnicas e instrumentos

¹⁶ “The ice-age theory cast permanently into doubt the notion that climate was in fact stable, changing if at all only within the framework of a long-term cooling process.” (Krüger, 2013, p. 475). “In conclusion we can say that the discovery of the ice ages served as an important stimulus for further researches.” (Krüger, 2013, p. 476).

altamente sensibles a las variaciones de la composición física y química de la materia, lo que permitió el análisis de los indicadores indirectos (*proxy*).¹⁷ Así cobraron importancia capital técnicas como la datación por decaimiento de isótopos radiactivos del carbono o el potasio en muestras de fósiles, sedimentos y aire prehistórico atrapado en el hielo de los polos; o, por ejemplo, el cociente entre isótopos de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) en diferentes materiales. Esto último fue posible porque científicos, como el danés Willi Dansgaard, descubrieron que las diferencias de temperatura afectaban la proporción isotópica de deuterio (D)/hidrógeno (H) y oxígeno-18 (^{18}O) /oxígeno-16 (^{16}O) en los copos de nieve o gotas de lluvia en el momento de precipitarse. Por ejemplo, como el isótopo ^{18}O es más pesado que el más abundante y ligero ^{16}O , permanece en los océanos en mayor concentración en procesos como la evaporación o la formación de grandes capas de hielo polares; cuando está presente en el vapor de agua atmosférico, por su mayor peso suele precipitarse primero, sobre todo cuando la temperatura promedio de la superficie terrestre es relativamente cálida (Jouzel, 2013).

Otra huella isotópica del oxígeno en relación con la temperatura ambiental se encontró en los caparzones de especies marinas como los foraminíferos, seres unicelulares que forman conchas de materiales calcáreos (*vid., Fig. 1.6*). En 1947 el químico estadounidense Harold Clayton Urey sugirió que una baja temperatura en los océanos incrementaría la presencia del ^{18}O en el agua y en las conchas de piedra caliza (CaCO_3) de los foraminíferos, hipótesis corroborada por el también químico Samuel Epstein en 1953.



Fig. 1.6

Conchas fosilizadas de foraminíferos de la especie *Megastomella kleinpelli*, que vivieron en el periodo Mioceno. Fuente: California Academy of Sciences, San Francisco, California: <https://flic.kr/p/rBM94E>

¹⁷ “**Indicador indirecto** Un indicador climático indirecto es un registro cuya interpretación basada en ciertos principios físicos y biofísicos permite representar un conjunto de variaciones relacionadas con el clima en tiempos pasados. Los datos así obtenidos se denominan datos indirectos. Son datos indirectos los análisis del polen, los registros de anillos arbóreos, los espeleotemas, las características de los corales, o ciertos datos obtenidos de sedimentos marinos y núcleos de hielo. Los datos indirectos se pueden calibrar de modo que ofrezcan información climática cuantitativa.” (IPCC, 2013, p. 194).

Cesare Emiliani, geoquímico de origen italiano pero residente en Estados Unidos de América (EUA), aplicó sistemáticamente a las muestras de sedimentos marinos el análisis del isótopo de oxígeno-18 presente en los caparazones fosilizados de los foraminíferos. Emiliani estudió núcleos (*cores*) de sedimentos marinos del mar Caribe, del océano Pacífico y del Atlántico norte y determinó que durante los últimos 600 000 años ocurrieron al menos 15 oscilaciones climáticas de cerca de 6 °C en las aguas de los océanos del hemisferio norte, oscilaciones entre una serie de periodos fríos (glaciares) seguidos de aumentos de la temperatura (interglaciares), (*vid.*, **Fig. 1.7**). Los datos de Emiliani ponían en duda la hipótesis sostenida desde el siglo XIX de la existencia de sólo cuatro glaciaciones en el pasado geológico reciente y apoyaban fuertemente la teoría de los ciclos orbitales como causa de los cambios climáticos en la Tierra así como a los cálculos hechos por Milankovitch —que a mediados del siglo XX aún no eran considerados criterios cronológicos correctos por la mayoría de los científicos de esa época (Weart, 2003, p. 48)—.¹⁸

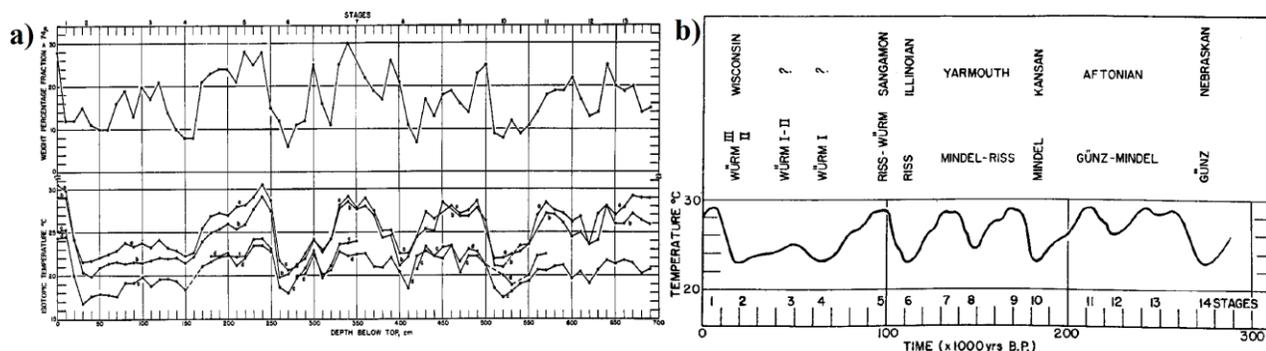


Fig. 1.7 a) Temperaturas isotópicas obtenidas de cuatro especies de foraminíferos en un núcleo de suelo oceánico; b) Reconstrucción de las variaciones de temperatura durante los últimos 280 000 años a partir de las variaciones isotópicas en los núcleos del fondo marino y variaciones orbitales en la insolación recibida en bajas latitudes. Fuente: (Emiliani, 1955, pp. 549, 569).

Por otro lado, en 1956 Gilbert N. Plass estimó, sobre la base de nuevos datos de la capacidad de absorción de radiación infrarroja del dióxido de carbono y cálculos hechos por las primeras computadoras electrónicas, que el CO₂ extra arrojado a la atmósfera por los seres humanos causaría un calentamiento de 1.1 °C por siglo (Plass, 1956, p. 384), lo cual significó una renovada y empíricamente fundada defensa de la hipótesis de Callendar.

¹⁸ Si bien hubo algunas objeciones a la metodología del trabajo de Emiliani de 1955, en las décadas siguientes el científico italoestadounidense revisó y corrigió las deficiencias metodológicas y, tras múltiples estudios sobre el tema, tanto del propio Emiliani como de otros autores, se comprobó la correlación entre las concentraciones isotópicas de oxígeno en los fósiles de foraminíferos y los ciclos orbitales de la Tierra (Weart, 2003, p. 80).

Roger Revelle y Hans Suess, en respuesta directa a la hipótesis de Callendar, publicaron en 1957 un artículo en el que estimaron que las moléculas de CO_2 arrojadas por la quema de combustibles fósiles sólo permanecerían en la atmósfera pocos años antes de disolverse en los océanos y, por tanto, la adición de dióxido de carbono a la atmósfera a causa de las actividades humanas sería insignificante (Revelle y Suess, 1957, p. 20), aunque reconocían que era una incógnita la concentración atmosférica de CO_2 . Dicha incógnita la despejó el químico estadounidense Charles David Keeling quien desarrolló un método instrumental de alta precisión para determinar la cantidad de CO_2 atmosférico (Harris, 2010). Bajo el patrocinio del gobierno estadounidense durante el Año Geofísico Internacional (1957-1958) Keeling recolectó muestras en tres ubicaciones distintas: en la ciudad californiana de La Jolla, en la Antártida y en el volcán Mauna Loa, en Hawái, donde finalmente se estableció una estación meteorológica que continúa en funcionamiento hasta nuestros días.

Los primeros resultados de Keeling, publicados en 1960, mostraron en el hemisferio norte una curva con un pico en mayo y un valle en septiembre que corresponden respectivamente al crecimiento y muerte anual de las plantas, mientras que los datos antárticos mostraban una línea casi diagonal sin oscilaciones considerables debido a la poca vegetación en el polo sur y su nula influencia en las variaciones mensuales de las concentraciones atmosféricas de CO_2 (*vid., Fig. 1.8*). En todas las locaciones, sin embargo, era notoria la tendencia anual al alza de la concentración atmosférica de dióxido de carbono, lo cual demostró que las cantidades de CO_2 vertidas en la atmósfera terrestre por actividades humanas permanecen ahí durante más tiempo que el teorizado por Revelle y Suess y, de esta manera, se convirtió en una evidencia de respaldo a la teoría del origen del cambio químico de la atmósfera como causa de los cambios climáticos.

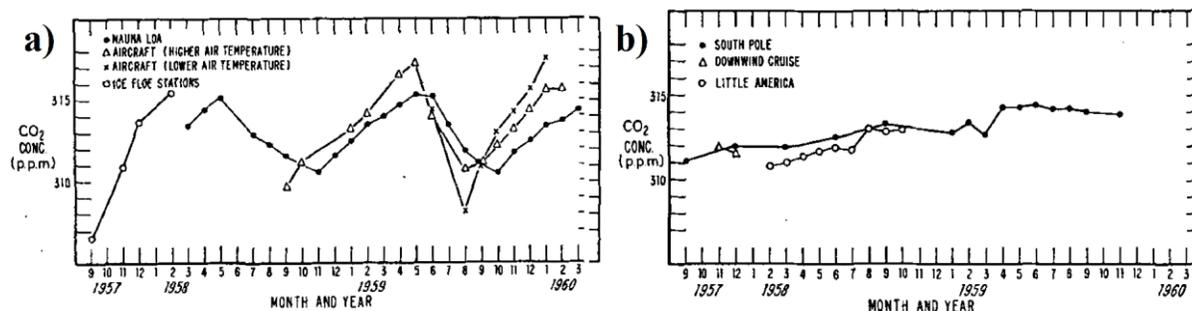


Fig. 1.8 a) Valores de las concentraciones atmosféricas de CO_2 en el hemisferio norte desde septiembre de 1957 a marzo de 1960; **b)** Valores de las concentraciones atmosféricas de CO_2 en el hemisferio sur entre septiembre de 1957 a marzo de 1960.

Fuente: (Keeling, 1960, pp. 200, 201).

Otra fuente adicional de “evidencias” climáticas provino de la combinación de los datos meteorológicos y su utilización como *inputs* para modelos matemáticos de la atmósfera en los cuales se trataba de predecir el estado del tiempo de horas y días futuros en regiones específicas.¹⁹ Cabe resaltar que los modelos *meteorológicos*, es decir, un conjunto de ecuaciones para tratar de predecir los fenómenos atmosféricos inmediatos en el tiempo y el espacio, precedieron cronológicamente al desarrollo de los modelos *climáticos* en tanto que estos últimos requieren de una gran cantidad de información de las interacciones atmósfera-océano-criosfera-biosfera-litosfera, una gran cantidad de datos difícil de calcular que requiere tanto de un trabajo matemático y computacional complejo.

Dada la enorme complejidad de los sistemas de ecuaciones empleados por los modelos, los primeros métodos numéricos sólo podían calcular el estado del tiempo local. Hubo que esperar tanto la utilización de las ecuaciones de la dinámica de fluidos —introducidas al campo por Vilhelm Bjerknes, Lewis Fry Richardson, Carl Gustav Rossby y Dave Fultz— y el desarrollo posterior a la Segunda Guerra Mundial de las primeras computadoras para el progreso del campo (Campbell-Kelly *et al.*, 2014, pp. 65 y ss.).

Con el apoyo de John von Neumann, un equipo liderado por Jule Charney logró los primeros pronósticos regionales del estado del tiempo a finales de la década de 1940 utilizando la computadora ENIAC (Aspray, 1990, p. 143). Para 1955 se contaba ya con el primer modelo general de circulación atmosférica (GCM por sus siglas en inglés) desarrollado por Norman Phillips, el cual arrojaba valores muy similares a los registrados empíricamente por el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT por sus siglas en inglés) y la Universidad de California (Aspray, 1990, p. 150).

Durante la década de 1960 se desarrollaron los primeros modelos climáticos (no meteorológicos) capaces de simular las condiciones esperadas durante décadas o siglos, (*vid.*, **Fig. 1.9**). Los respectivos modelos del japonés Syukuro Manabe, del soviético Mikhail Budyko y del norteamericano William Sellers, aportaron evidencia a la teoría química atmosférica como causa de cambios climáticos al mostrar que las variaciones en la cantidad de CO₂ atmosférico pueden desencadenar glaciaciones o calentar la atmósfera.

¹⁹ Aún se debate el valor epistemológico de las modelaciones climáticas en tanto que los modelos matemáticos no siempre son capaces de calcular ni tener en cuenta todos los factores que influyen en el sistema climático global, pues varios de estos modelos son diseñados para resolver problemas específicos y no para generar medidas o conclusiones definitivas (*cfr.*, Notz, 2015).

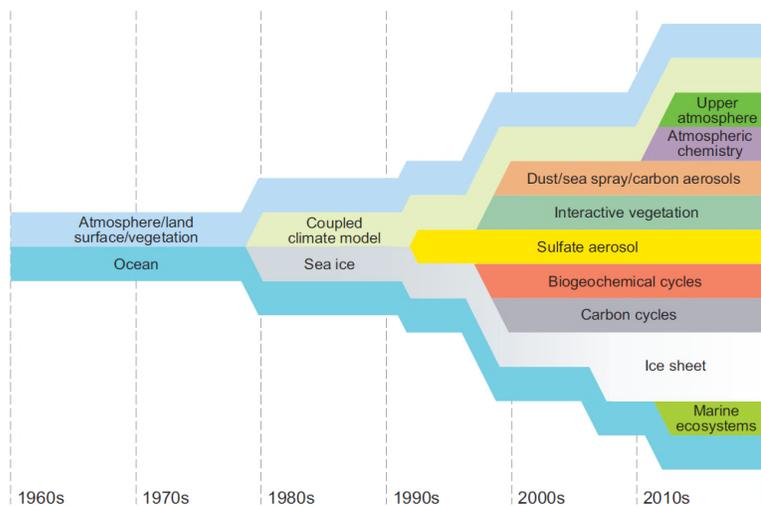


Fig. 1.9 Línea del tiempo esquemática sobre los diversos procesos biogeoquímicos agregados a los modelos climáticos computacionales desde la década de 1960. Fuente: (Mathez y Smerdon, 2018, p. 337).

Otra importante fuente de evidencias de los cambios climáticos y de sus impulsores fue la paleoclimatología que desde la década de 1950 se consolidó con el estudio de: (1) las huellas isotópicas de elementos químicos presentes en los fondos oceánicos y lacustres; (2) anillos de crecimiento de árboles; (3) restos fósiles o sedimentarios de polen; y (4) los testigos de hielo (*ice cores*) obtenidos en diversos puntos de la Antártida y en Groenlandia (Jouzel, 2013), (*vid., Fig. 1.10*).

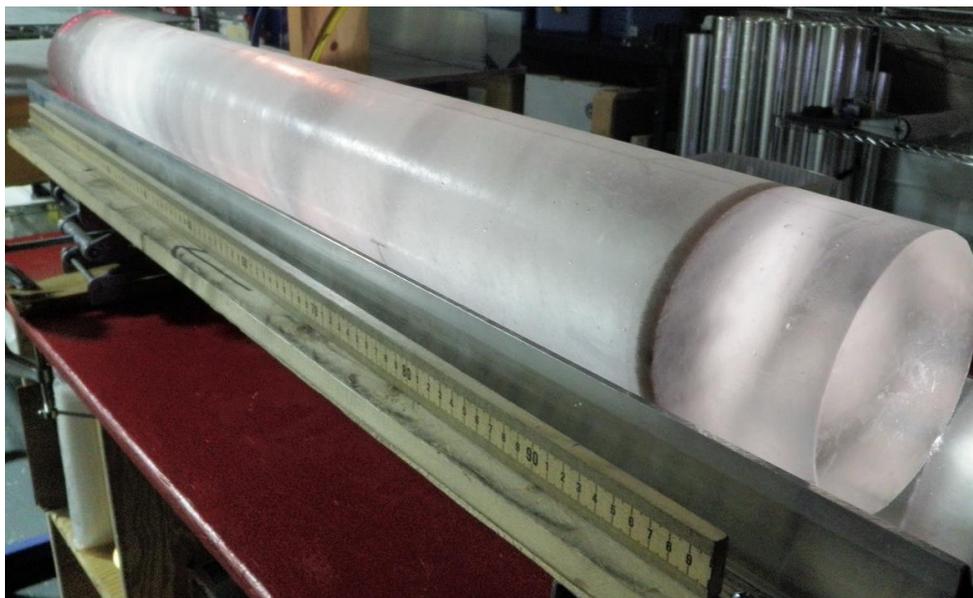


Fig. 1.10 Núcleo de hielo obtenido de la capa de hielo de la Antártida Occidental. La banda oscura corresponde a ceniza volcánica depositada hace aproximadamente 21,000 años. Fotografía por Heidi A. Roop. Fuente: https://www.nsf.gov/news/mmg/media/images/WAIS_ICECOR_E.JPG

Hacia la década de 1970 los mecanismos e impulsores tras un clima cambiante comenzaron a clarificarse a medida que nuevas evidencias empíricas, directas e indirectas, comenzaron a

encajar entre sí, cual piezas de un gran rompecabezas. Por ejemplo, en 1973 los estudios paleoclimáticos de Nicholas Shackleton del fondo oceánico del Índico, a partir de isótopos de potasio (con un periodo de decaimiento radiactivo más largo que el del carbono), y diferentes análisis de los testigos de hielo obtenidos en la base antártica de Vostok mostraron una congruencia entre sí y con los valores cronológicos de la teoría de los cambios orbitales, (Weart, 2003, p. 74), es decir, distintos isótopos, no sólo el de oxígeno en minerales calcáreos y del agua del hielo prehistórico, apuntaban a grandes y periódicas oscilaciones en la temperatura planetaria al ritmo previsto por los cálculos de Milankovitch (*vid.*, **Fig. 1.11**).

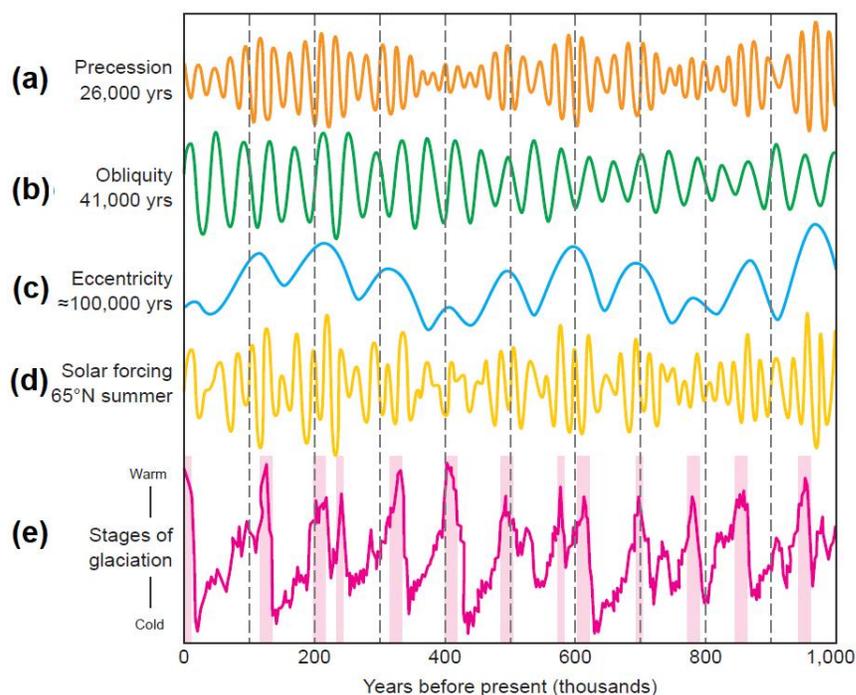


Fig. 1.11
Representación gráfica de (a) la precesión de los equinoccios, (b) oblicuidad del eje terrestre, (c) excentricidad de la órbita, (d) el forzamiento radiativo de verano en el hemisferio norte a los 65° de latitud y (e) los diferentes periodos glaciares e interglaciares durante el último millón de años estimados a partir de $\delta^{18}\text{O}$. Fuente: (Mathez y Smerdon, 2018, p. 209).

Para la década de 1970 la comunidad científica finalmente tenía la certeza de que el clima no era estable o inmutable sino que presentaba cambios significativos a través del tiempo (Weart, 2003, p. 89). Si bien los ciclos orbitales parecían ser el metrónomo de los cambios climáticos, éstos requieren de mecanismos retroalimentadores para ocurrir, como ya lo había sospechado James Croll un siglo antes. A pesar de todo, la explicación de las causas subyacentes puede calificarse bajo una etiqueta simple: fenómenos térmicos. Los cambios del clima no pueden explicarse como efecto de una simple suma o resta de kilómetros respecto al Sol en términos mecanicistas clásicos, *a la* Newton, sino que se requiere considerar los efectos termodinámicos y de transferencia de calor. En una metáfora, si los ciclos orbitales son el

director de orquesta que marca el tiempo de los cambios climáticos, éstos no pueden “sonar” sin músicos que atiendan las oscilaciones en las cantidades de energía recibidas. Es justo en este punto cuando el CO₂ emergió ante la mirada de las comunidades científicas como el gran solista, o al menos el “músico” más sonoro, en el baile climático.

Durante la década de 1970 existió un debate en torno a las tendencias climáticas del siglo XX en tanto que los datos en el hemisferio norte indicaban una ligera tendencia a la baja en la temperatura promedio de la superficie terrestre entre 1945 y 1975, información que recibió una gran cobertura mediática (Peterson, Connolley y Fleck, 2008), (*vid.*, **Fig. 1.12**).

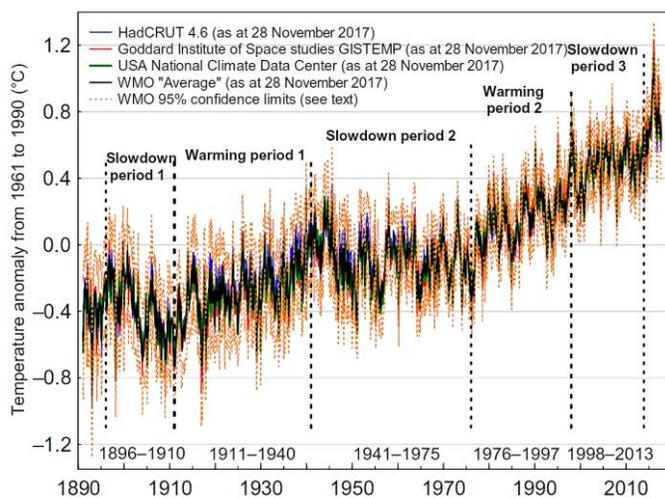


Fig. 1.12

Anomalías mensuales de la temperatura promedio de la superficie terrestre entre enero de 1891 y septiembre de 2017 a partir de datos de la Organización Meteorológica Mundial. Obsérvese el “estancamiento” de la tendencia al alza en el periodo 1941-1975. Fuente: (Folland *et al.*, 2018, p. 3).

Algunos autores soviéticos consideraron que una causa posible de ese enfriamiento serían las grandes cantidades del dióxido de nitrógeno (NO₂) generadas por las armas atómicas y termonucleares detonadas en la atmósfera durante ese periodo (Garduño, 2018, p. 136).

En 1979, en torno a los efectos sobre la temperatura promedio de la superficie terrestre y el dióxido de carbono de origen antrópico, la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos de América publicó un informe, preparado por un equipo liderado por Jule Charney, que calculó un posible incremento de $3\text{ °C} \pm 1.5\text{ °C}$ de la temperatura promedio si la concentración atmosférica de CO₂ fuera doble (Santer *et al.*, 2019). También en 1979 se llevó a cabo la Conferencia Mundial del Clima en Ginebra, Suiza, en la que se estableció un mecanismo de revisión del estado de la cuestión sobre el cambio climático: cerca de 300 expertos del área provenientes de más de 50 países revisaron la literatura científica sobre el tema y redactaron conclusiones en las que indicaban la posibilidad de que a largo plazo el aumento de CO₂ podría convertirse en un factor determinante del clima (Weart, 2003, p. 116).

No sólo los modelos computacionales indicaban la existencia de una correlación positiva entre concentraciones atmosféricas elevadas de CO_2 y aumento de temperatura, también los registros meteorológicos históricos y las mediciones satelitales de la temperatura atmosférica (tanto de infrarrojos medidas desde 1969 como las de microondas desde 1978) indicaban una clara tendencia al alza de la temperatura de la superficie terrestre (Weart, 2003, pp. 120 y ss.). Aún más, nuevas técnicas paleoclimatológicas desarrolladas durante la década de 1980 permitieron determinar la composición química de la atmósfera terrestre en el pasado por el análisis directo de las burbujas de aire atrapadas en los núcleos de hielo. Los resultados concordaban: el aumento y disminución tanto de la temperatura como de la concentración atmosférica de dióxido de carbono tenían una correlación positiva, (*vid.*, Fig. 1.13).

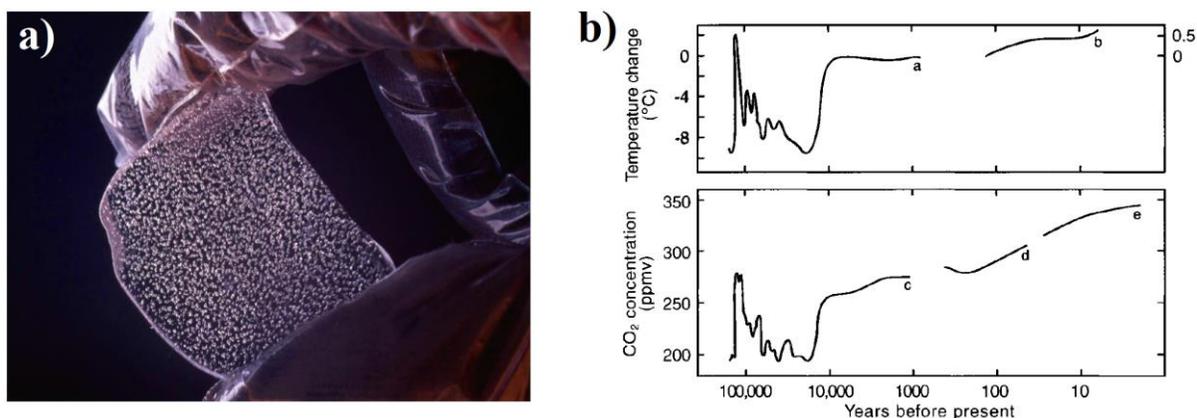


Fig. 1.13 a) Fragmento de un núcleo de hielo proveniente de Groenlandia con burbujas de aire antiguo atrapadas durante el continuo proceso de precipitación y acumulación de nieve a lo largo de milenios. b) Variaciones de CO_2 atmosférico y temperatura superficial durante los últimos 160 000 años reconstruidos a partir de núcleos de hielo antárticos.

Fuentes: a) (Mathez y Smerdon, 2018, p. 192); b) (Saltzman, 2002, p. 43).

Una de las contribuciones científicas que hizo tomar conciencia pública de las consecuencias ambientales catastróficas de un cambio repentino y robusto en el clima fue el trabajo del grupo de científicos conocido como TTAPS —por las iniciales de sus apellidos: Turco, Toon, Ackerman, Pollack, Sagan— que investigaron y divulgaron activamente los posibles efectos ambientales del hipotético caso que los ejércitos estadounidenses y soviéticos detonaran entre el 0.8 y el 75% de las aproximadamente 58 437 armas nucleares de sus arsenales (Sagan, 1983, p. 264). Los resultados de los modelos computarizados sobre un posible conflicto nuclear auguraban grandes incendios y una espesa cubierta de cenizas radiactivas que sumirían al planeta en la oscuridad por varios meses, lo que provocaría un

rápido descenso en su temperatura (*vid.*, **Fig. 1.14**), lo cual causaría a su vez el colapso de las redes tróficas. Los datos de Sagan y sus colegas demostraban que un conflicto nuclear no tendría ganadores —incluso si sólo una nación hiciera uso de sus armas nucleares— sino sólo la extinción de la especie humana e incluso la destrucción garantizada de la vida en el planeta en un corto periodo de tiempo.

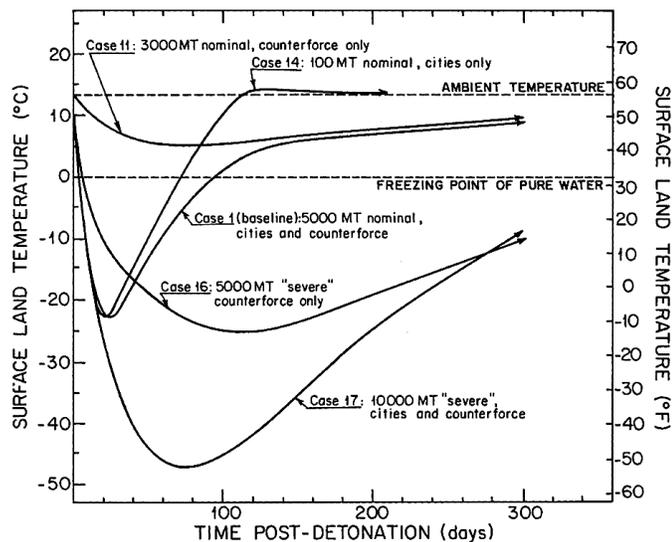


Fig. 1.14
Efectos sobre la temperatura promedio en el hemisferio norte de acuerdo a diferentes escenarios modelados de conflictos nucleares. Fuente: (Sagan, 1983, p. 266).

La década de 1980 supuso la comprensión científica de que las diversas teorías del origen del cambio climático no eran teorías opuestas sino complementarias, además de que los diferentes elementos biogeoquímicos del planeta están interrelacionados y que sus interacciones determinan el comportamiento actual del clima terrestre. La congruencia teórica y la nueva información instrumental hicieron girar la atención científica del helado pasado geológico de la Tierra al caluroso presente y el incierto futuro climático del planeta.

La tasa de aumento en la temperatura promedio de la superficie de la Tierra observado a finales del siglo XX encendió las alarmas entre las comunidades científicas en tanto que sus valores estaban fuera del rango de oscilaciones de periodos glaciares e interglaciares del Pleistoceno, lo cual indicaba la existencia de una perturbación del sistema climático que era explicable de manera convincente como consecuencia del aumento de CO₂ en la atmósfera a causa de las actividades industriales humanas. Entonces, “Los científicos [ya] no estaban preocupados por el cambio climático en sí —porque [ya] sabían que el clima era naturalmente variable—, sino por el cambio rápido y unidireccional forzado por el dióxido de carbono.” (Oreskes y Conway, 2018, p. 305). Los datos paleoclimáticos mostraban que cambios de

temperatura de entre 5° C y 10° C podrían ocurrir no en milenios sino en un siglo, incluso en décadas (Weart, 2003, p. 63). Varios científicos comprendieron que, dada la rápida tasa de incremento de dióxido de carbono atmosférico, era necesario llegar a un consenso epistémico sobre la gravedad de los efectos de un cambio climático global rápido causado por los seres humanos.

Bajo la dirección de la Organización Meteorológica Mundial y el Consejo Internacional de Uniones Científicas (ICSU, por sus siglas en inglés, actualmente Consejo Internacional para la Ciencia) en 1985 se llevaron a cabo una serie de conferencias sobre el clima en Villach, Austria, en las cuales los científicos advirtieron que el aumento de la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero (GEI) podría causar un calentamiento planetario significativo en el siguiente siglo y, por ello, era hora de alcanzar consensos políticos para evitarlo (Weart, 2003, p. 151; Howe, 2014, p. 155). En 1987, en Bellagio, Italia, los científicos liderados por el climatólogo Bert Bolin, establecieron la necesidad de objetivos cuantificables de reducción de temperaturas y emisiones de GEI para evitar un rápido cambio climático antrópico (Howe, 2014, pp. 156-157).

En 1988 tuvo lugar la “Conferencia mundial de la atmósfera cambiante: Implicaciones para la Seguridad Global”, en Montreal, Canadá, en la cual los científicos abordaron los problemas ambientales causados por las actividades humanas, tales como el agotamiento de la capa de ozono por clorofluorocarbonos y el cambio climático por calentamiento global, y determinaron que se debía actuar rápidamente para detener el daño antrópico a la atmósfera terrestre (Weart, 2003, p. 154). En ese mismo año, la Organización Meteorológica Mundial y el Programa Ambiental de Naciones Unidas (UNEP, por sus siglas en inglés) crearon el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), cuya misión es evaluar la literatura y acuerdo científico existente sobre el cambio climático y establecer un consenso científico sobre el tema, bajo el esquema trabajado previamente en Ginebra en 1979 y en Villach en 1985 —*i.e.*, grupos de trabajo que evalúan la literatura y redactan conclusiones—, pero incluyendo también a actores políticos, industriales y de organizaciones no gubernamentales (ONGs) en su estructura (Howe, 2014, p. 158).²⁰

²⁰ “Unlike earlier bodies, the IPCC was composed mainly of representatives of the world’s governments —people who had strong links to national laboratories, meteorological offices, science agencies, and so forth. It was neither a strictly scientific nor a strictly political body, but a unique hybrid.” (Weart, 2003, p. 158).

El IPCC publicó en 1990 su *Primer Informe de Evaluación* en el que se afirmó la posibilidad de un cambio climático causado por las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero en el siguiente siglo. Ese trabajo fue la base científica sobre la que se delinearon los objetivos políticos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), la cual se conformó en 1992.

En informes posteriores, y una vez constituido como una autoridad científica, el IPCC

[...] ya en 1995 había llegado a la conclusión de que las actividades humanas estaban afectando al clima global. En 2001, el Tercer Informe de Evaluación afirmó que las pruebas eran sólidas y se estaban reforzando más, y en 2007, la Cuarta Evaluación calificó el calentamiento global de «inequívoco». Importantes organizaciones científicas y científicos destacados de todo el mundo han ratificado repetidamente la conclusión del IPCC.

(Oreskes y Conway, 2018, p. 289).

En el *Quinto Informe de Evaluación* de 2013 y 2014, el IPCC

[...] confirma que la influencia humana en el sistema climático es clara y va en aumento, y sus impactos se observan en todos los continentes y océanos. [...]. El IPCC está hoy seguro con un 95% de certeza de que la actividad humana es actualmente la causa principal del calentamiento global. Además [...] concluye que cuanto mayor sea la perturbación de la actividad humana sobre el clima, mayores serán los riesgos de impactos graves, generalizados e irreversibles en las personas y los ecosistemas, y más duraderos serán los cambios en todos los componentes del sistema climático.

(IPCC, 2014, p. V).

Recapitulando, el conocimiento científico actual del funcionamiento del sistema climático de la Tierra es resultado de la producción de una multiplicidad de teorías, hipótesis y modelos físicos, químicos, geológicos, biológicos y climatológicos que se han ido articulando coherentemente desde por lo menos la segunda década del siglo XIX. El clima es una entidad compleja y el desciframiento de los diversos factores que lo constituyen ha requerido el concierto de diferentes disciplinas, técnicas instrumentales y un gran conjunto de datos, (además de una enorme infraestructura, instrumentación, personal y financiamiento).

La comprensión científica del clima ha dilucidado las complejas relaciones que operan en el planeta y, a su vez, ha mostrado que los seres humanos tienen la capacidad de afectar al sistema Tierra en su conjunto. En el siguiente capítulo se explica, en términos generales, en qué consiste el cambio climático antropogénico.

Capítulo 2

¿Qué es el cambio climático antropogénico?

Resumen: En este capítulo se ofrece la información mínima necesaria para la explicación del cambio climático antropogénico. Tras la distinción entre tiempo meteorológico y clima, se mencionan brevemente algunos elementos del sistema climático terrestre. Se enfatiza en el efecto invernadero, el dióxido de carbono y el forzamiento radiativo. Si bien el cambio climático antropogénico es multicausal, por brevedad, se pone el acento en la interferencia humana en los ciclos biogeoquímicos por diversas actividades productivas y sociales, industrializadas o no. Finalmente, se muestran algunos escenarios futuros posibles de los cambios en el sistema climático terrestre según distintas opciones de intervención humana.

Palabras clave: *Tiempo meteorológico, clima, efecto invernadero, dióxido de carbono, cambio climático antropogénico.*

En este capítulo se exponen algunos de los factores mínimos necesarios para explicar en qué consiste el cambio climático antropogénico. Es preciso señalar que no es una revisión exhaustiva de todos los componentes climáticos pues una tarea semejante requeriría de un detalle y extensión que va más allá de los límites de esta investigación.

2.1 Tiempo meteorológico y clima

El *estado del tiempo*, *tiempo meteorológico* o *temperie* son las condiciones de la atmósfera, o meteoros, en un tiempo y lugar particulares. Los elementos del tiempo meteorológico son: temperatura del aire, presión atmosférica del aire, humedad (cantidad de vapor de agua en el aire), cubierta de nubes (tipo y cantidad de nubes), precipitación (lluvia, nieve o granizo), viento y visibilidad (la mayor distancia perceptible por la visión humana), (Ahrens y Henson,

2016, p. 17; Allaby, 2007b, p. 528). La información meteorológica se representa a través de cartas meteorológicas con la información de las condiciones atmosféricas en lugares, alturas y fechas específicas (*vid.*, **Fig. 2.1**). Los pronósticos meteorológicos son predicciones de las condiciones atmosféricas sobre un lugar en diferentes escalas temporales, generalmente desde unas horas hasta máximo un mes (Allaby, 2007b, p. 528; Garduño, 2018, p. 106). El estado del tiempo sólo tiene lugar en la atmósfera; sus condiciones son descriptibles y predecibles mediante explicaciones basadas en la dinámica de fluidos, antes que en la termodinámica, pues incluso cuando hay movimientos a causa de una diferencia de temperatura —como en la generación de vientos— los procesos son adiabáticos, es decir, no intercambian calor con su entorno (Garduño, 2018, p. 106).

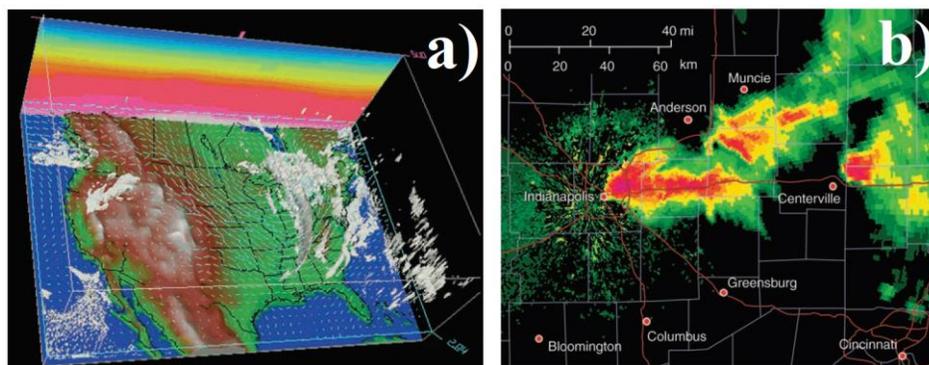


Fig. 2.1 a) Modelo meteorológico de patrones de viento sobre Estados Unidos de América. b) Carta meteorológica de precipitación sobre Indiana, EUA, el 14 de abril de 2006. Fuente: (Ahrens y Henson, 2016, pp.18, 26).

Si bien los estudios meteorológicos actualmente recurren a cálculos matemáticos e instrumentos complejos, en términos generales, giran en torno a características atmosféricas perceptibles por los sentidos humanos, es decir, su objeto de estudio es fácilmente accesible empíricamente y la instrumentación sirve para refinar la granularidad de la información.

El clima, por otro lado, es más complejo. De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC):

El clima se suele definir en sentido restringido como el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años. El período de promedio habitual es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial. Las magnitudes son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento). En un sentido más amplio, el clima es el estado del *sistema climático* en términos tanto clásicos como estadísticos.

(IPCC, 2013, p. 189).

Otros autores dan las siguientes definiciones:

- “**Clima.** Promedio temporal de las condiciones meteorológicas en periodos del orden de un mes o mayores.” (Garduño, 2018, p. 160).
- “El clima se puede entender como el estudio estadístico del tiempo atmosférico. En climatología, los datos de las variables que determinan el clima se obtienen de promedios tanto espaciales como temporales, de la secuencia temporal del tiempo meteorológico.” (Zúñiga y Crespo, 2010, p. 220).
- “[...] *un ensamble estadístico de los estados del sistema atmósfera-océano-tierra durante un periodo de tiempo de varias décadas de duración es llamado un clima.*” (Monin, 1986, p. 6).¹
- “El clima es el estado del tiempo que esperamos en el periodo de un mes, una estación, una década o un siglo. Más técnicamente el clima se define como las condiciones del estado del tiempo resultantes del estado promedio del sistema atmósfera-océano-tierra, usualmente descritas en términos de «normales climatológicas» o condiciones promedio de la temperie.” (Hanslmeier, 2007, p. 127).²

El clima es una entidad compleja cuyo concepto refiere al promedio del estado del tiempo en alguna región geográfica (desde pequeños valles hasta la escala planetaria) a través de largos periodos de tiempo (desde un mes, estaciones del año, décadas, siglos, milenios o millones de años) así como a su rango y frecuencia, tanto de condiciones más comunes así como la de eventos extremos (Ahrens y Henson, 2016, p. 17). El estudio del clima no sólo se refiere a su descripción sino también a su explicación y predicción a través de la comprensión de sus causas: las interacciones entre atmósfera, hidrosfera, criosfera, biosfera, litosfera, el balance energético del sistema climático, los ciclos orbitales y forzamientos externos.

El clima, desde el punto de vista de su estudio, se expresa principalmente en términos estadísticos que describen la frecuencia y distribución de los elementos meteorológicos a lo largo del tiempo en diversas regiones geográficas. Las condiciones climáticas promedio de

¹ “[...] *a statistical ensemble of states of the atmosphere-ocean-land system during a time period several decades long is called a climate.*” (Monin, 1986, p. 6).

² “Climate is the weather we expect over the period of a month, a season, a decade, or a century. More technically, climate is defined as the weather conditions resulting from the mean state of the atmosphere-ocean-land system, often described in terms of «climate normals» or average weather conditions.” (Hanslmeier, 2007, p. 127).

diferentes regiones se plasman en mapas de clasificaciones climáticas descriptivas (Barry y Carleton, 2001, p. 13; Allaby, 2007a, p. 93). En términos de su estudio formal:

[...] un clima se define matemáticamente como un *campo aleatorio multicomponente*. Una descripción completa de éste tendría que especificar todas las distribuciones de probabilidad de dimensión finita para los valores de los componentes del campo en todos los conjuntos finitos posibles de puntos en el espacio. Sin embargo, tal descripción completa es, por su puesto, irrealizable en la práctica. Con frecuencia, sólo se consideran [...] los valores climáticos promedio, las varianzas y las correlaciones de las cantidades dinámicamente independientes así como ciertas funciones de éstas. [...] Esta descripción del clima, evidentemente, permanece dentro del marco de las distribuciones de probabilidad de uno y dos puntos. En tanto que el sistema atmósfera-océano-tierra es global, el clima es por definición un concepto global. Los climas locales, esto es, la distribución de probabilidad de un punto en puntos fijos en el espacio, son manifestaciones del clima global.

(Monin, 1986, p. 6).³

La “imagen” del clima sólo puede emerger de un gran conjunto de datos registrados instrumentalmente de manera directa o indirecta (*proxy*) a lo largo del tiempo.⁴ La Organización Meteorológica Mundial ha establecido un periodo de 30 años de duración como la “unidad” cronológica estándar para calcular los valores promedio de las variables climáticas (temperatura, precipitación, etc.). Dichos promedios reciben el nombre de normal climatológica (Garduño, 2018, p. 164): valores promedios que son la base contra la cual se contrastan los valores registrados actualmente o en periodos de tiempo pasados. Cabe señalar que, en tanto que promedios, no significa que todos los días durante treinta años se hayan registrado empíricamente siempre los mismos valores sino que, en conjunto, los datos realmente registrados se acercan en mayor o menor medida, con mayor o menor frecuencia, al valor promedio del conjunto total de datos (*vid.*, **Fig. 2.2**).

³ “[...] a climate is defined mathematically as a *multicomponent random field*. A complete description of it would have to specify all the finite-dimensional probability distributions for values of the field components in all possible finite sets of points in space. However, such a complete description is, of course, unrealizable in practice. Frequently, only [...] are considered [...] the climatic mean values, variances, and correlations of the dynamically independent quantities and certain functions of these. [...] Such a description of the climate obviously remains within the framework of the single-point and two-point probability distributions. Since the atmosphere-ocean-land system is global, climate is by definition a global concept. Local climates, that is, single-point probability distributions at fixed points in space, are manifestations of the global climate.” (Monin, 1986, p. 6).

⁴ Los registros indirectos, o *proxys*, son todos aquellos cambios en la materia causados por condiciones climáticas y que se usan como evidencia empírica, cuando no hay registros instrumentales disponibles, para la reconstrucción de climas pasados. Para un análisis más detallado, *cfr.*: Saltzmann, 2002, pp. 17-29.

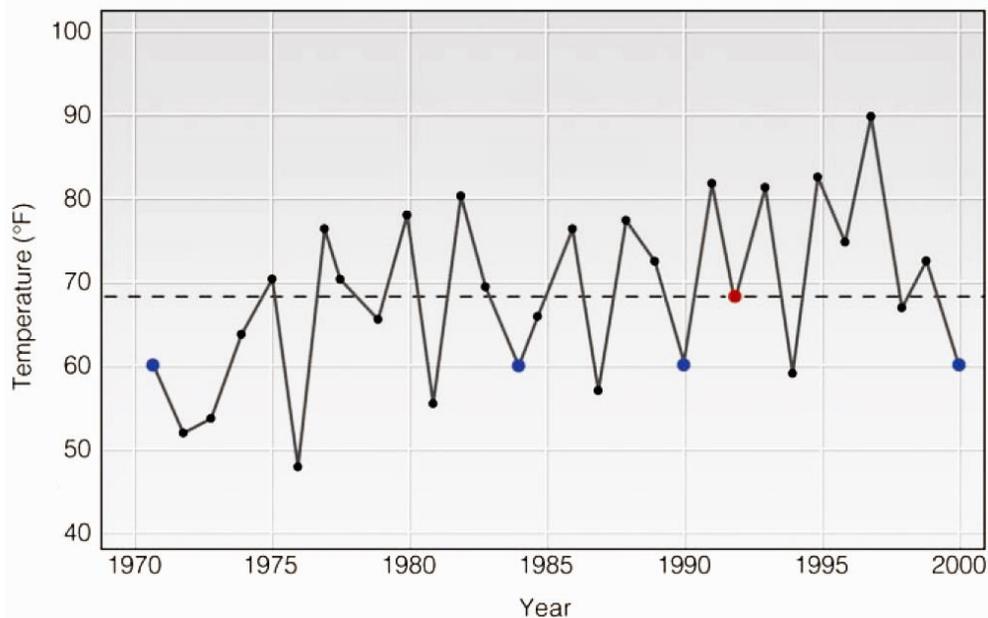


Fig. 2.2 Cada punto representa los valores, en grados Fahrenheit, de la temperatura máxima registrada cada 15 de marzo en una localidad del suroeste de Estados Unidos de América durante el periodo 1970-2000. La línea punteada horizontal es la normal climatológica de la temperatura de ese periodo. Dentro del conjunto de datos sólo uno (el punto rojo) coincide con el promedio de todo el periodo. Fuente: (Ahrens y Henson, 2016, p. 77).

Surge aquí una cuestión epistemológica importante. El concepto clima, de acuerdo con su definición formal, refiere a valores estadísticos que no necesariamente tienen siempre y en todo momento una relación biunívoca con condiciones materiales o estados inmutables a lo largo del tiempo y el espacio, pero tales valores son una descripción objetivamente fundada y, en general, precisa de las interacciones entre diferentes elementos biogeoquímicos del planeta. Esto no quiere decir que el clima sea una ficción o burda numerología sin referentes empíricos sino que su estudio requiere un enfoque temporal extenso y datos suficientes para poder describirlo. El referente empírico del clima es el sistema climático y, como señala el IPCC, el clima en un sentido amplio se refiere al estado de ese sistema.

2.2 El sistema climático terrestre

Desde una perspectiva teórica o abstracta el clima refiere a condiciones promedio inteligibles mediante herramientas matemáticas. Desde un enfoque empírico el clima se refiere a las condiciones del sistema climático terrestre, o sistema Tierra, el cual puede definirse como:

Sistema muy complejo que consta de cinco componentes principales: *atmósfera*, *hidrosfera*, *criosfera*, *litosfera* y *biosfera*, y de las interacciones entre ellos. El sistema climático evoluciona en el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna y por efecto de *forzamientos externos*, como las erupciones volcánicas o las variaciones solares, y de *forzamientos antropógenos*, como el cambio de composición de la atmósfera o el *cambio de uso del suelo*.

(IPCC, 2013, p. 201).

Los componentes del sistema climático son “[...] sólo aquellos elementos atmosféricos, oceánicos y continentales que interactúan bidireccionalmente con el clima; es decir, que lo afectan y —a su vez— son afectados por él, estos componentes se llaman factores internos del sistema climático.” (Garduño, 2018, p. 131). Cada uno de los componentes del sistema⁵ tiene características específicas relevantes para el clima: la hidrosfera es capaz de absorber elementos y compuestos químicos así como calor dadas las propiedades químicas y la gran capacidad térmica del agua; la criosfera además de propiedades térmicas del hielo y la nieve se caracteriza por su eficacia para reflejar la radiación debido a su alto albedo; la biosfera es un factor importante en la regulación de la proporción de los diversos gases atmosféricos desde la aparición de la vida en el planeta; la litosfera, o parte rocosa del planeta, es una fuente importante de diversos elementos y compuestos químicos a lo largo de sus ciclos; la atmósfera, en particular sus capas cercanas a la superficie terrestre, es el lugar donde ocurre el llamado “efecto invernadero” en el cual los gases que la componen absorben parte de la radiación térmica del planeta, lo que determina la temperatura promedio de la superficie terrestre.

El clima es resultado del intercambio de energía y materia entre diferentes componentes físicos, químicos y biológicos de nuestro planeta. Por lo tanto, el clima no sólo se caracteriza por propiedades sensorialmente accesibles al ser humano sino también por cualidades estructurales de la materia a diversas escalas espaciales y temporales matemáticamente descriptibles.

En el clima no sólo importan los factores mecánicos y dinámicos de materia en movimiento, también importan las propiedades termodinámicas y los fenómenos de transferencia de calor, desde las partículas fundamentales hasta la escala planetaria, desde las vibraciones y

⁵ “Un sistema puede ser definido como un complejo de elementos interactuantes. Interacción significa que elementos, p , están en relaciones, R , de suerte que el comportamiento de un elemento p en R es diferente de su comportamiento en otra relación R' . Si los comportamientos en R y R' no difieren, no hay interacción, y los elementos se comportan independientemente con respecto a las relaciones R y R' .” (Bertalanffy, 2009, p. 56).

rotaciones de las moléculas de diferentes compuestos químicos hasta las grandes corrientes oceánicas y atmosféricas (*vid.*, **Fig. 2.3**).

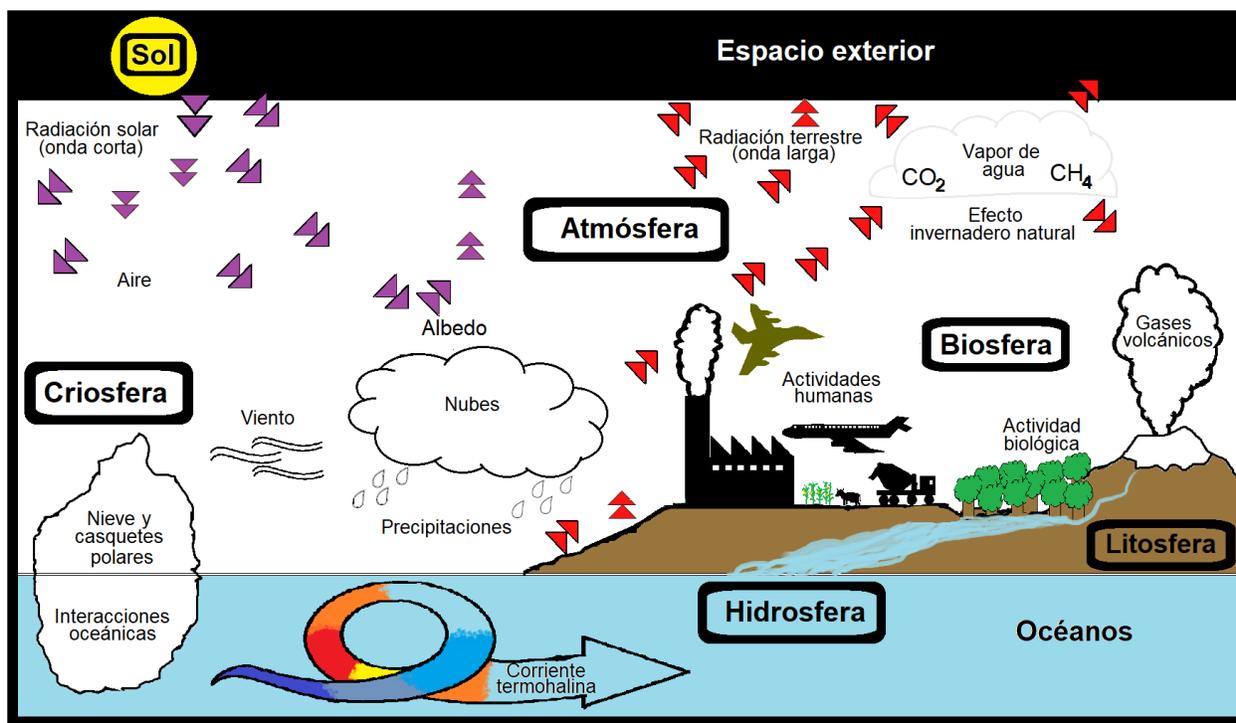


Fig. 2.3 Principales elementos internos del sistema climático terrestre más la radiación solar y las actividades humanas. Fuente: Elaboración propia a partir de: (Hanslmeier, 2007, p. 126).

En tanto que una descripción detallada de los elementos climáticos internos y factores externos que influyen en el clima va más allá de los límites de esta investigación, baste aquí sólo una pequeña enumeración, que dista de ser exhaustiva.

Desde el punto de vista de la escala física de los factores involucrados:

- *Escala "micro"*: fotones (emitidos, absorbidos, radiados), movimientos de rotaciones moleculares, átomos y compuestos químicos.
- *Escala "media"*: agua en tres estados de agregación (líquida, sólida, gaseosa), seres vivos, rocas y minerales (procesos de formación y meteorización), etc.
- *Escala "macro"*: corrientes marinas y de viento, ciclos orbitales del planeta Tierra, ciclos solares que causan ligeras fluctuaciones en la cantidad de energía emitida por el Sol.

Desde un punto de vista de las leyes físicas y principios involucrados pueden mencionarse las leyes de la termodinámica, los procesos de transferencia de calor (radiación, convección y en menor medida, conducción), los efectos inerciales de la rotación del planeta sobre los

océanos y las masas de aire (efecto Coriolis), la gravedad (tanto sus ligeros efectos dentro de los componentes terrestres del sistema así como la ejercida por Sol y otros planetas que afectan los ciclos orbitales de la Tierra), etc.

Desde un punto de vista de los ciclos biogeoquímicos, son relevantes los ciclos del agua, del carbono y del nitrógeno, entre otros. Los ciclos son los flujos de materia y energía repetidos a lo largo de diferentes escalas temporales y espaciales entre los diferentes reservorios del planeta, siendo reservorio o depósito aquellos componentes del sistema Tierra “[...] con capacidad para almacenar, acumular o liberar una sustancia [...]” (IPCC, 2013, p. 200).

Desde el punto de vista de las relaciones e interacciones sistémicas, la Tierra se considera prácticamente un sistema cerrado respecto a la materia —porque no tiene *salidas* significativas de materia a su entorno— pero es un sistema abierto respecto a la energía porque la recibe del Sol y la emite al espacio exterior. El sistema climático, además, está en equilibrio dinámico en tanto que el movimiento de los diferentes elementos que lo conforman lo conducen a un estado estable a lo largo del tiempo, siendo las retroalimentaciones, tanto positivas como negativas, un proceso fundamental en esta estabilidad dinámica. Las retroalimentaciones pueden definirse como “[...] un proceso circular en el cual parte de la salida [de un sistema] es remitida de nuevo [...] a la entrada [...] haciendo así que el sistema se autorregule [...]” (Bertalanffy, 2009, p. 167). Son positivas aquellas retroalimentaciones que incrementan o amplifican una característica del sistema y que generalmente lo conducen a un nuevo estado, mientras las negativas reducen los cambios y tienden a mantener el equilibrio existente.

2.3 Algunos factores determinantes del clima terrestre

De acuerdo con Andrei S. Monin existen tres conjuntos de factores que determinan el clima: (1) factores astronómicos externos: los que rigen los ciclos orbitales de la Tierra y determinan el valor de la insolación; (2) factores geofísicos externos: aquellos que afectan al clima pero no son afectados por él, tales como los relativos a las propiedades físicas del planeta que determinan sus campos magnéticos y gravitacionales, así como las fuentes de calor internas y vulcanismo; y (3) factores geofísicos internos: las propiedades del sistema atmósfera-océano-litósfera que juegan un papel en el balance energético del planeta, tales como la composición química de la atmósfera, gradientes térmicos atmosféricos y oceánicos, albedo, etc. (Monin, 1986, p. 7).

En términos generales, el sistema climático terrestre puede describirse como una macroentidad compleja que intercambia energía térmica —principalmente por radiación— y materia entre sus componentes internos.

2.3.1 Radiación térmica

Todos los cuerpos emiten energía en forma de radiación que proviene de sus partículas elementales, las cuales “[...] generan ondas electromagnéticas en virtud de sus movimientos rotacionales y de sus vibraciones, se trata de la emisión de *radiación térmica* [...] la radiación térmica representa la transformación de la energía interna de una sustancia en energía electromagnética.” (Cervantes, 1999, p. 403), (*vid.*, *Fig. 2.4*).

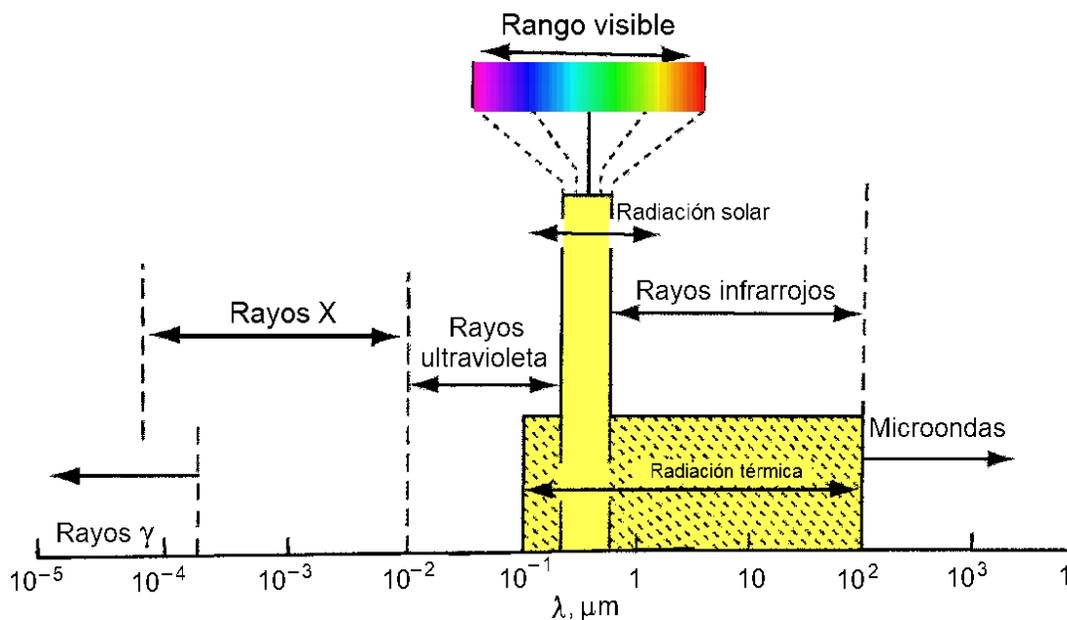


Fig. 2.4 Espectro de radiación electromagnética ordenado según su longitud de onda (λ) medida en micrómetros (μm). En énfasis añadido (amarillo) se resalta la radiación térmica, la cual se emite entre las longitudes aproximadas de 0.1 -100 μm , incluyendo parte de radiación ultravioleta, el espectro visible (colores añadidos) y la radiación infrarroja.

Fuente: (Cervantes, 1999, p. 405, énfasis y colores añadidos).

La radiación térmica puede transferir energía a través del vacío y es describable tanto como una onda —su magnitud varía según la longitud de onda (λ)— a la vez que puede ser considerada como transferencia de partículas con valores discretos específicos, cuantificados, de energía y movimiento: los fotones (Cervantes, 1999, p. 404).

Una manera de estudiar la radiación térmica es el modelo del cuerpo negro. De acuerdo con la termodinámica, cuando un cuerpo emite calor a uno de menor temperatura durante largo tiempo, llegará un momento en que ambos cuerpos tendrán la misma temperatura porque el cuerpo más frío absorberá y terminará emitiendo la misma cantidad de energía que recibe y ambos cuerpos estarán en equilibrio térmico. Un cuerpo negro es un modelo “[...] a la vez de un absorbedor y un emisor perfecto [...]” (Cervantes, 1999, p. 417). Muchos objetos físicos, como los astros, pueden tratarse como cuerpos negros, determinando así su temperatura y el espectro de las longitudes de onda de energía térmica que emiten. Por ejemplo, el Sol puede considerarse un cuerpo negro con temperatura de 5 770 K — 5 496.8 °C— (IPCC, 2013, p. 199), concentrando la mayor cantidad de energía entre las bandas del espectro de 0.3 y 3 μm (Cervantes, 1999, p. 428).

La cantidad de radiación térmica emitida por el Sol que llega a la parte superior de la atmósfera terrestre recibe el nombre de “irradiación solar total”, cuyo valor es de 1 368 W/m^2 con ligeras variaciones de aproximadamente 0.2% debidas al ciclo solar y las manchas solares (IPCC, 2013, p. 195), en términos prácticos se le considera un valor constante (Molina, Sarukhán y Carabias, 2017, p. 33). La radiación solar que llega a la Tierra dependiendo de la latitud y estación del año se denomina “insolación” (IPCC, 2013, p. 194), la cual no es igual para todos los sitios de la superficie de la Tierra dada su forma esferoidal y los cambios continuos de orientación respecto al Sol durante la rotación y traslación (*vid.*, **Fig. 2.5**).

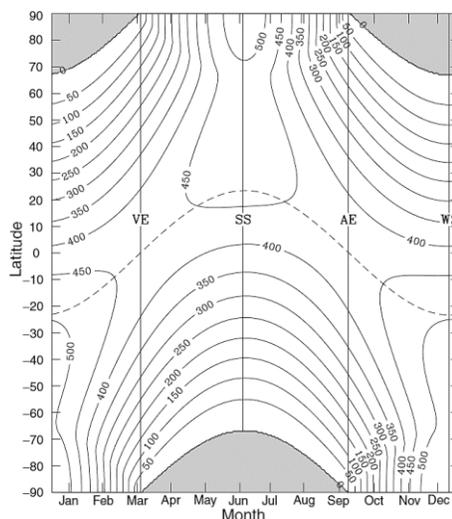


Fig. 2.5 Insolación diaria promedio medida en W/m^2 en distintas latitudes. Las áreas grises indican la ausencia de insolación. Las líneas verticales sólidas indican: equinoccio de primavera (VE), solsticio de verano (SS), equinoccio de otoño (AE) y solsticio de invierno (WS).

Fuente: (Liou, 2002, p. 52).

Dado el valor de la irradiación solar total, la distancia de la Tierra al Sol y que el tiempo transcurrido desde la formación de nuestro planeta ha sido suficiente para que ambos astros

se encuentren en equilibrio térmico, los cálculos indican que la temperatura de la superficie de nuestro planeta debería ser de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, sin embargo, la temperatura promedio es de $\sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta notable diferencia se debe a la atmósfera terrestre que, dada su composición química, absorbe parte de la radiación térmica infrarroja emitida por nuestro planeta y la reemite de nuevo hacia la superficie regulando así el equilibrio térmico de la Tierra (*vid.*, Fig. 2.6).

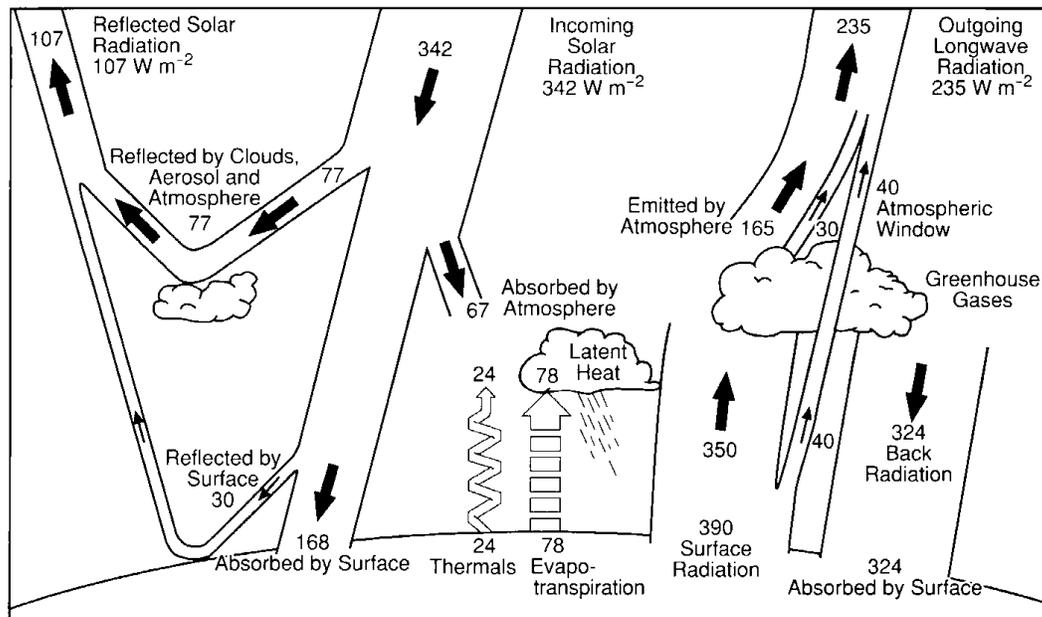


Fig. 2.6 Balance energético de la Tierra. De 342 W/m^2 de radiación solar entrante de onda corta, 107 son reflejados de vuelta al espacio y 168 absorbidos por la superficie. Ésta emite una radiación de onda larga de 390 W/m^2 , mucha de la cual es absorbida por los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre, que regresan 324 W/m^2 absorbidos de nuevo por la superficie del planeta. La radiación terrestre finalmente emitida al espacio exterior en radiación de onda larga tiene un valor estimado de 235 W/m^2 . El equilibrio se alcanza porque a los 235 W/m^2 radiados deben sumarse los 107 reflejados ($235+107= 342$). Fuente: (IPCC, 1996, p. 95).

2.3.2 Efecto invernadero

A la capacidad de absorción de radiación térmica por parte de ciertos gases atmosféricos se le denomina “efecto invernadero” por la analogía que hay entre las cubiertas transparentes de un invernáculo que hacen aumentar su temperatura y el efecto térmico de la atmósfera de nuestro planeta. Empero, es una analogía imperfecta porque en el caso del invernadero sus cubiertas, además de absorber radiación, impiden materialmente que el aire en el recinto escape por convección a sus alrededores; mientras que en el caso de nuestro planeta, los gases atmosféricos de efecto invernadero (GEI) en el aire son los que aumentan de temperatura y, al calentarse, reemiten la radiación hacia la superficie (Howe, 2017, p. 28).

La selectividad de los gases de efecto invernadero para permitir el paso de la radiación de onda corta pero impedir la salida de la radiación infrarroja se explica porque:

[...] los gases [...] tienen diferentes tipos de transiciones de energía dando lugar a espectros menos continuos para las propiedades de radiación. Las moléculas, átomos, iones y electrones libres que forman un gas poseen varios niveles de energía asociados con ellos [...] la emisión de radiación consistirá en el cambio a un nivel de energía más bajo, con el correspondiente desprendimiento de fotones; lo propio se tendrá durante una absorción de radiación: aumento de nivel y captura de fotones. La magnitud de la transición o cambio de nivel de energía se relaciona con la frecuencia de la radiación [...] Es decir, para un cambio de nivel de energía se tiene un valor fijo —discreto— de frecuencia; se concluye que, en ausencia de otros efectos, la radiación emitida corresponderá [a] una línea espectral.

(Cervantes, 1999, pp. 498-490).

A partir de estas propiedades es posible describir las líneas espectrales de radiación total emitidas por el Sol, la Tierra y las absorciones que de ellas hacen los gases de efecto invernadero (*vid., Fig. 2.7*).

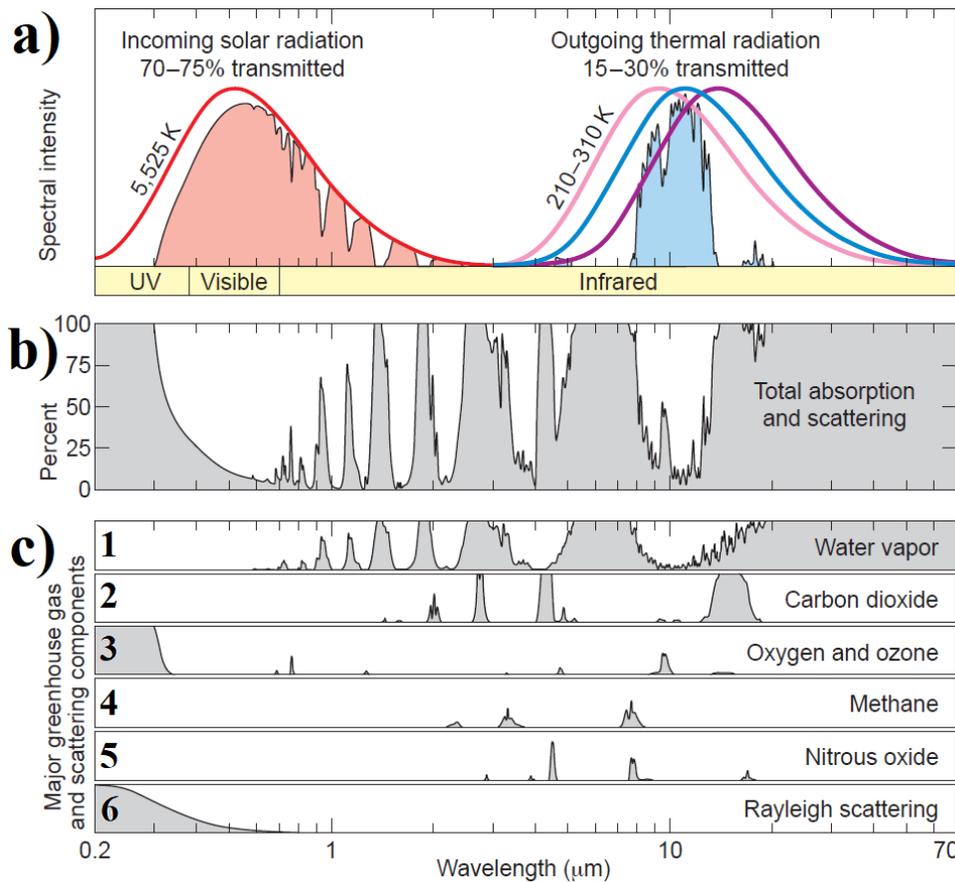


Fig. 2.7 a) Distribución de la radiación solar (rojo) y terrestre en las regiones polar (rosa), ecuatorial (azul) y de altas latitudes (morado). Las curvas fragmentadas son el espectro de radiación que llega a la superficie terrestre. **b)** Espectro de absorción y dispersión total de la radiación en la atmósfera terrestre. **c)** Espectros de absorción de los principales GEI: (1) vapor de agua; (2) CO₂, (3) O₂ y O₃; (4) CH₄; (5) N₂O. Y (6) la dispersión de Rayleigh. Fuente: (Mathez y Smerdon, 2018, p. 144, letras y números añadidos).

Es preciso señalar que “[...] los gases de [efecto] invernadero son poliatómicos; los diatómicos (y con mayor razón los monoatómicos) son transparentes a la radiación de onda larga.” (Garduño, 2018, p. 75). Es decir, los gases compuestos por tres o más átomos atrapan la radiación infrarroja pero permiten el paso de la radiación de longitud de onda más corta. Son estos gases los que, a pesar de ser una fracción minúscula de la atmósfera, regulan la temperatura promedio de la superficie terrestre (*vid.*, **Tabla 2.1**).

Tabla 2.1 COMPONENTES QUÍMICOS DE LA ATMÓSFERA TERRESTRE	
Componente	Porcentaje (%) por volumen cerca de la superficie terrestre
Nitrógeno (N ₂)	78.084
Oxígeno (O ₂)	20.948
Argón (Ar)	0.934
Dióxido de carbono (CO ₂)	0.036
Vapor de agua (H ₂ O)	Variable: Promedio: 0.25. Mínimo: 0.1 - 0.04
Neón (Ne)	18.18 x 10 ⁻⁴
Ozono (O ₃)	0 – 12 x 10 ⁻⁴
Helio (He)	5.24 x 10 ⁻⁴
Metano (CH ₄)	1.7 x 10 ⁻⁴
Criptón (Kr)	1.14 x 10 ⁻⁴
Hidrógeno (H ₂)	0.5 x 10 ⁻⁴
Óxido nitroso (N ₂ O)	0.3 x 10 ⁻⁴
Xenón (Xe)	0.089 x 10 ⁻⁴
Monóxido de carbono (CO)	0.08 x 10 ⁻⁴
Dióxido de azufre (SO ₂)	0.001 x 10 ⁻⁴
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.001 x 10 ⁻⁴
Amoníaco (NH ₃)	0.004 x 10 ⁻⁴
Óxido nítrico (NO)	0.0005 x 10 ⁻⁴
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	0.00005 x 10 ⁻⁴
Vapor de ácido nítrico (HNO ₃)	Trazas
Clorofluorocarbonos	Trazas

Fuente: Elaboración propia a partir de: (Liou, 2002, p. 67; Molina, Sarukhán y Carabias, 2017, p. 33).

El gas de efecto invernadero con mayor capacidad de absorción de radiación térmica es el vapor de agua (*vid. supra*, **Fig. 2.7, c** 1), el cual determina la opacidad atmosférica (Garduño, 2018, p. 67). El vapor de agua es parte de un mecanismo de retroalimentación positiva del sistema:

[...] la cantidad de H₂O presente en el aire es interdependiente con la temperatura; pues cuanto más caliente esté la atmósfera, absorbe más H₂O, que se evapora del océano, las plantas y el suelo; a su vez, el calentamiento original se acrecienta por

la presencia de H_2O adicional, ya que éste aumenta la opacidad infrarroja de la atmósfera. Análogamente, el H_2O atmosférico disminuye cuando baja la temperatura y refuerza el enfriamiento.

(Garduño, 2018, p. 77).

Esto ocurre debido a la tendencia del aire a conservar el vapor de agua que contiene —*i.e.*, conservar su humedad relativa—, a mayor temperatura corresponde mayor capacidad para contener vapor de agua, mientras que a menor temperatura corresponde menor contenido de vapor de agua, pues éste se condensa y forma gotas —niebla o nubes— (Garduño, 2018, p. 65). Dadas estas características, el vapor de agua sólo refuerza la tendencia al alza o a la baja de la temperatura, pero no la inicia. Por lo tanto, son otros factores los que actúan como forzamientos o causas del cambio.

2.3.3 El ciclo del carbono

La concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero (GEI) puede cambiar a causa de forzamientos externos al sistema climático, es decir, por factores que afectan al clima pero no son afectados por éste, por ejemplo, la actividad tectónica o las erupciones volcánicas y, actualmente, la quema antrópica de combustibles fósiles, como se verá más adelante.

El gas de efecto invernadero más estable, que no es susceptible a las retroalimentaciones climáticas internas por tener importantes fuentes de emisión geológicas y que contribuye a determinar los cambios de temperatura promedio de la superficie terrestre es el dióxido de carbono (CO_2), gas que es parte de un proceso biogeoquímico más amplio: el ciclo del carbono (*vid.*, Fig. 2.8).

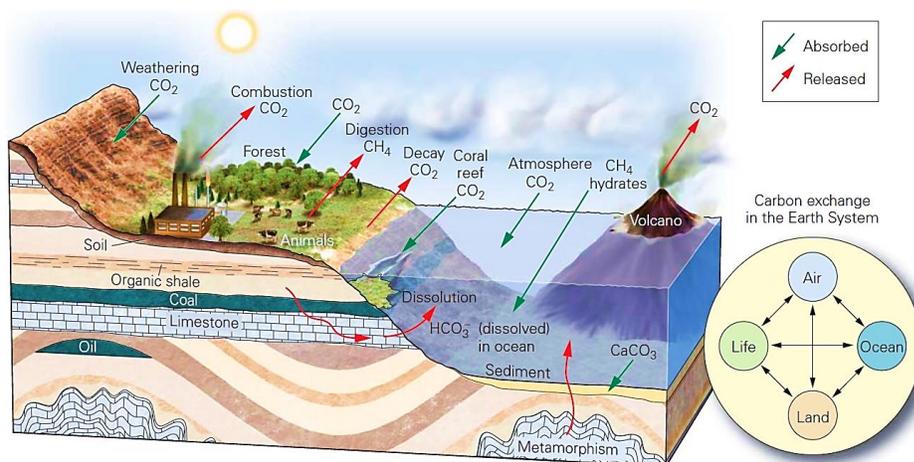


Fig. 2.8
Representación esquemática del ciclo del carbono.
Fuente: (Marshak, 2013, p. 551).

El ciclo del carbono es el movimiento del elemento químico carbono (C) a través de los diferentes depósitos o reservorios que lo contienen en el planeta Tierra: la atmósfera, la biosfera (incluyendo materia orgánica viva y muerta), la hidrosfera (incluyendo carbono inorgánico en los océanos), la litosfera (principalmente por sedimentación, formación de carbonatos, meteorización, erosión, y posteriormente por vulcanismo y movimientos tectónicos), y su retorno a la atmósfera (Farmer y Cook, 2013, pp. 203-204). Las principales formas químicas en las cuales se presenta el carbono en sus diferentes reservorios son: CO_2 , CH_4 , CO en la atmósfera y en la biosfera; HCO_3^- , CO_3^{2-} y H_2CO_3 en la hidrosfera; carbonatos y grafito en la litosfera (Shikazono, 2015, p. 143).

El ciclo del carbono puede dividirse en dos partes:

1. *Ciclo del carbono orgánico o ciclo biogeoquímico (de corto plazo)*: impulsado principalmente por la fotosíntesis y las interacciones entre la biósfera y otros depósitos de carbono (Shikazono, 2015, pp. 146 y ss.). El carbono atmosférico es transferido a la biósfera a través de la fotosíntesis, desde la cual hay dos vías que sigue: (a) las raíces de las plantas producen ácidos orgánicos con carbono que reaccionan con minerales de silicatos de calcio y magnesio y iones Ca^{++} y Mg^{++} y HCO_3^- , los cuales son transportados por ríos a los océanos, donde el Ca^{++} reacciona y se precipita como CaCO_3 (Berner, 2012, p. 545); o bien (b) el carbono circula por las cadenas tróficas y es regresado a la atmósfera a través de la respiración autótrofa y heterótrofa (en forma de CO_2 o CH_4) e incendios forestales (Ciais *et al.*, 2013, p. 470).

El océano absorbe el carbono: (1) gracias a la diferencia de presión parcial del CO_2 en océano y el aire; (2) a través de la precipitación y disolución del CO_2 que en el agua (de lluvia u oceánica) se convierte en ácido carbónico (H_2CO_3) que, a su vez, se disocia en iones de hidrógeno y bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{2-}), éste en interacción con el calcio, forma CaCO_3 que o bien forma carbonatos o es utilizado por los organismos marinos para formar conchas las cuales, al paso de miles de años, se sedimentan junto a otras clases de materia orgánica en los fondos oceánicos (Ciais *et al.*, 2013, p. 472; Allaby, 2007a, pp. 67-68).

2. *Ciclo del carbono inorgánico o geoquímico (de largo plazo)*: impulsado principalmente por la formación de carbonatos y silicatos, siendo la litosfera el mayor reservorio de carbono. La circulación del carbono ocurre lentamente gracias las interacciones entre la corteza terrestre, la hidrosfera y la atmósfera que causan disolución y meteorización (Shikazono, 2015, pp. 146 y ss.; Dolman, 2019, pp. 3-5).

2.3.3.1 El dióxido de carbono (CO₂)

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas incoloro e inodoro, soluble en agua, con una masa molar de 44.01 g/mol. Su punto de fusión es -78.5 °C y su punto de ebullición es -56.6 °C (IFA-GESTIS, 2021). Posee moléculas lineares y simétricas conformadas por un átomo de carbono central unido a dos átomos de oxígeno por medio de enlaces covalentes dobles. Dada su estructura, posee tres modos vibracionales: tensión simétrica, tensión asimétrica y flexión. Los últimos dos son sus modos principales de vibración (Liou, 2002, p. 84). El dióxido de carbono produce bandas espectrales principalmente en la longitud de onda (λ) de los 15 μm , y en menor medida en los 4.3, 2.7, 2.0, 1.6, 1.4 μm (Liou, 2002, p. 84; Farmer, 2015, p. 17).

El CO₂ se encuentra homogéneamente mezclado en las capas bajas de la atmósfera, no se condensa ni precipita ni se oxida (Farmer y Cook, 2003, pp. 186, 208) y posee una “vida atmosférica” larga, es decir, permanece en la atmósfera ~200 años antes de ser absorbido por los océanos, las plantas o procesos geoquímicos (Archer *et al.*, 2009, p. 134), (*vid.*, **Fig. 2.9**). Estas características físicas hacen que sea el GEI más estable y por ello es usado como “unidad” de medición de equivalencias entre el forzamiento radiativo resultante de una concentración de CO₂ “puro” y el producido por una mezcla de CO₂ + otros GEI y/o aerosoles: las concentraciones de dióxido de carbono equivalente: CO₂e (IPCC, 2013, p. 189).

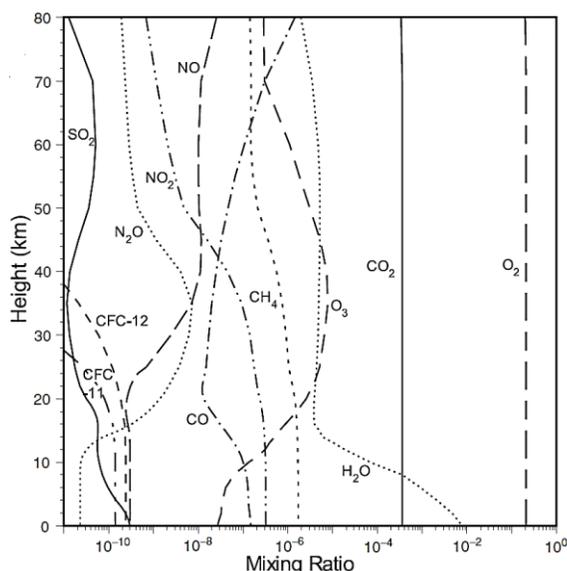


Fig. 2.9

Perfiles verticales de las proporciones de mezcla de algunos gases atmosféricos. Obsérvese que, excepto el O₂, ningún otro gas tiene una proporción constante a todas las alturas como el CO₂ — línea vertical sólida—. Fuente: (Liou, 2002, p. 69).

Las cantidades del CO₂ atmosférico han variado a lo largo de la historia geológica del planeta en la medida en que diferentes procesos físicos, químicos y, más tardíamente, biológicos han determinado los intercambios de carbono entre sus depósitos. Desde hace ~45

millones de años, los niveles de CO₂ en la atmósfera han permanecido relativamente estables en bajas concentraciones (Burroughs, 2007, pp. 186 y ss.), (*vid.*, Fig. 2.10).

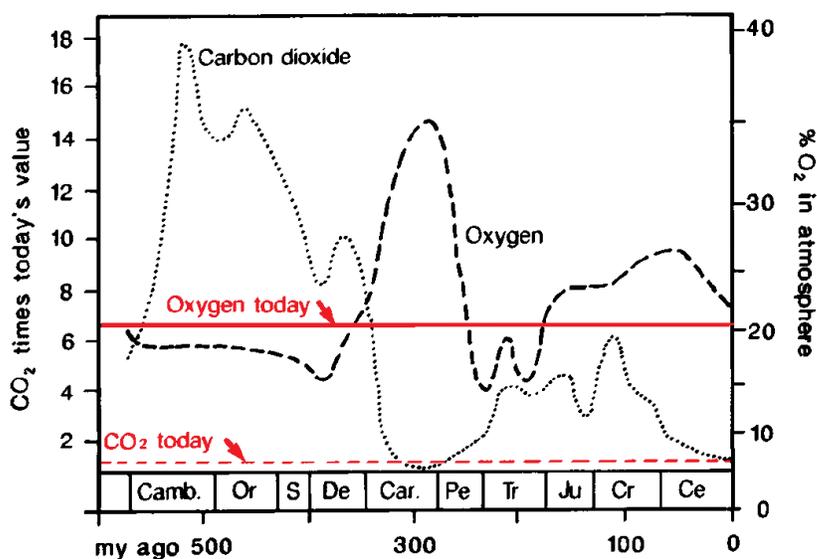


Fig. 2.10
Niveles del CO₂ y de O₂ a lo largo de los últimos 600 millones de años (líneas punteadas) en comparación con los niveles actuales de dichos gases (líneas coloreadas señaladas con flechas).
Fuente: (Burroughs, 2007, p. 187, énfasis añadido).

Como parte del ciclo del carbono, el CO₂ circula entre los cuatro grandes reservorios: la litosfera emite dióxido de carbono a la atmósfera a través de actividad volcánica cuyas emisiones se estiman en ~150-270 MtCO₂ anuales⁶ (Farmer y Cook, 2013, pp. 186). Los intercambios de CO₂ entre biosfera y atmósfera se estiman en ~120 GtCO₂ anuales⁷ y se dan principalmente por medio de la respiración de los seres vivos. El intercambio de dióxido de carbono entre los océanos y atmósfera es de ~90 GtCO₂ por año y ocurre principalmente por la diferencia de la presión parcial entre el aire y los océanos (Farmer y Cook, 2013, p. 204).

Es preciso recordar que el sistema climático terrestre es sumamente complejo. En diferentes etapas geológicas sus impulsores y cambios han sido resultado de múltiples relaciones e interacciones entre sus elementos (*i.e.*, los que afectan y se ven afectados por el clima) y factores externos (*i.e.*, que afectan al clima pero no son afectados por éste). Comprender el papel que juega el CO₂ actualmente tiene una importancia capital no porque sea el único factor que determine al clima sino porque es uno de los elementos climáticos que presenta una de las mayores tasas de cambio observada en el registro geológico reciente. Además, en tanto que es el GEI más estable, los cambios en su concentración atmosférica tendrán efectos duraderos sobre la temperatura promedio de la superficie terrestre durante los siglos venideros.

⁶ Megatonelada: 1 Mt= 1 x 10⁶ = un millón de toneladas métricas.

⁷ Gigatonelada: 1 Gt= 1 x 10⁹ = mil millones de toneladas métricas.

2.3.4 Forzamiento radiativo

El forzamiento radiativo (FR) es la medición en W/m^2 del cambio en la tropopausa⁸ entre la cantidad de energía recibida y la energía saliente del planeta como respuesta a un cambio en el balance energético de la Tierra —que puede ser causado por cambios en la concentración de GEI en la atmósfera o en la cantidad de irradiación solar total—. Si el forzamiento radiativo es positivo, entonces hay una reducción del flujo de energía saliente y hay un consecuente calentamiento de la atmósfera; si el forzamiento radiativo es negativo entonces se incrementa la salida de energía y hay un enfriamiento de la atmósfera (Burroughs, 2007, p. 355; Farmer, 2015, 9). Se toma como referencia de comparación el periodo desde 1750 a la actualidad y generalmente sus valores expresan promedios anuales (IPCC, 2013, p. 193).

En el *Quinto Informe de Evaluación* del IPCC

El forzamiento radiativo se define [...] como la variación del flujo descendente neto (onda corta más onda larga) en la tropopausa, tras permitir que las temperaturas estratosféricas se reajusten hasta alcanzar el equilibrio radiativo, mientras se mantienen fijas otras variables de estado, como las temperaturas troposféricas, el vapor de agua y la cubierta de nubes [...]

(IPCC, 2013, p. 53).

Es necesario resaltar que el forzamiento radiativo no es una medida de los cambios del clima sino de los cambios en los flujos de energía en la atmósfera (que es sólo uno de los elementos del sistema climático) y, por ello, es sólo un indicador indirecto de los impulsores de los cambios climáticos (Mathez y Smerdon, 2018, p. 164). Para determinar las respuestas del clima a los forzamientos externos es necesario tomar en cuenta otros muchos factores en los demás componentes del sistema que no responden directamente al cambio de temperatura atmosférica (IPCC, 2013, p. 53).

2.4 Cambio climático

El clima es el estado promedio de las condiciones de la temperatura durante un periodo de tiempo más o menos largo en una región. Esas condiciones son variables respecto a cualquier otro periodo de tiempo de igual duración y, en la medida en que se cuente con los datos necesarios, sus valores pueden compararse entre sí.

⁸ Parte superior de la troposfera o capa más cercana a la superficie terrestre, se encuentra a ~10 km de altura.

La variabilidad climática puede entenderse como las variaciones de los promedios de valores o tendencias centrales de los elementos climáticos importantes —incluyendo los efectos periódicos, cuasi periódicos o no periódicos de esos valores— observados dentro de series de datos entre distintos periodos de referencia (Hare, 1979, pp. 52-53). La variabilidad también puede entenderse como las fluctuaciones de los valores climatológicos respecto a la normal climatológica entre diferentes series de datos, series que pueden tener patrones constantes sin modificaciones robustas de los valores (Burroughs, 2007, p. 3). Otra manera de conceptualizar la variabilidad climática es concebirla como la respuesta del sistema climático a las interacciones y relaciones internas del propio sistema y que presentan una misma escala temporal que los cambios por forzamientos externos y se superponen con ellos (Hasselmann, 1997, p. 602). La variabilidad climática incluye a los fenómenos que no son meteorológicos —pues estos últimos no tienen más que unos días de duración, como por ejemplo los huracanes— pero sí tienen una duración extendida o recurrente, como El Niño Oscilación del Sur (ENOS, o bien ENSO por sus siglas en inglés).

Aquí hay otra cuestión epistemológica importante a considerar. En tanto que el estudio del clima implica la comparación estadística de datos entre periodos de tiempo que pueden elegirse arbitrariamente, siempre habrá diferencias entre cada serie de tiempo, lo cual indica que el clima —en cuanto condiciones reales del sistema Tierra— es en sí mismo variable y cambiante. ¿Cómo saber que algo que siempre cambia presenta a su vez un cambio más profundo? Una dificultad importante es que hay mucho ruido en la información. Empero, las condiciones climáticas no cambian espontáneamente sin sentido en cualquier dirección porque el sistema Tierra no cambia instantáneamente entre condiciones radicalmente diferentes. Esto hace plausible la noción de cambio climático.

¿Qué es entonces el cambio climático? Según el IPCC

Cambio climático Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo.

(IPCC, 2013, p. 188).

Un cambio climático sería el conjunto de las variaciones del clima en periodos de tiempo largo con una causa definida asignada: cambios que se manifiestan como diferencias reales por causas definidas entre periodos de referencia, aunque el problema es detectar la señal distintiva del cambio entre todo el ruido de la variabilidad (Hare, 1979, p. 53).

Como se dijo en la sección 2.1, la “imagen” del clima emerge del conjunto de datos disponibles de las variables climáticas en un periodo de tiempo. Por lo tanto, la “imagen” del cambio climático también es visible al comparar los conjuntos de datos (*vid.*, **Fig. 2.11**).

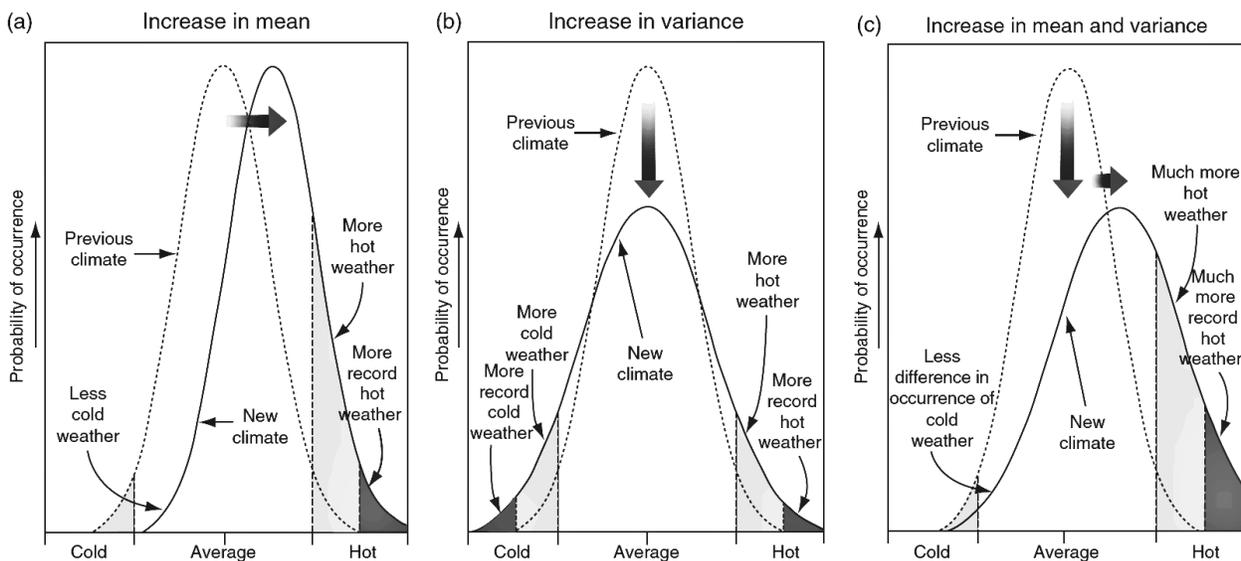


Fig. 2.11 El cambio climático y la variabilidad afectan la cantidad de eventos promedio y extremos: *a)* Cambio de la varianza pero no del promedio: el nuevo clima aumenta la probabilidad de días más cálidos. *b)* Incremento de la varianza pero no del promedio: aumenta la probabilidad de eventos tanto fríos como cálidos; *c)* Cambio del promedio y la varianza: aumentan las probabilidades de eventos cálidos y se reduce la probabilidad de eventos fríos. En términos estadísticos, cambios en la curtosis (coeficiente de apuntamiento) y la homocedasticidad (homogeneidad de la varianza). Fuente: (Burroughs, 2007, p. 265).

Distinguir la variabilidad climática de un cambio climático es posible en la medida en que diversos impulsores —internos o externos al sistema climático— generan una “señal” distintiva y específica que contrasta con el ruido. Es posible detectar esa señal y atribuir el cambio observado a una causa específica.⁹

⁹ “**Detección y atribución** La *detección de cambios* se define como el proceso de demostración que el clima o un sistema afectado por el *clima* han cambiado en un sentido estadístico definido, sin indicar las razones del cambio. Un cambio identificado se detecta en las observaciones si la *probabilidad* de que ocurra casualmente debido únicamente a la *variabilidad interna* es baja, por ejemplo menor del 10%. La *atribución* se define como el proceso de evaluación de las contribuciones relativas de varios factores casuales a un cambio o evento con una asignación de confianza estadística (Hegerl y otros, 2010).” (IPCC, 2013, p. 190).

2.5 Cambio climático antropogénico

Recapitulando, el sistema Tierra es un sistema que tiende al equilibrio térmico con el Sol pues la misma cantidad de energía que recibe es la misma cantidad que emitirá al espacio exterior; dicho equilibrio puede alterarse ya sea por un cambio en la cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera y/o en la cantidad de energía recibida por el Sol, lo cual generará efectos directos en el forzamiento radiativo de la Tierra, lo que produce aumento o descenso de la temperatura de la atmósfera para mantener el equilibrio térmico. Pero el clima no sólo se reduce a la atmósfera. El clima es el resultado de la interacción constante y variable tanto de sus elementos internos que afectan y se ven afectados por el clima (hidrosfera, criosfera, litosfera, biosfera y atmósfera) así como de factores externos que afectan pero no se ven afectados por el clima (irradiación solar, vulcanismo, tectónica de placas, actividades productivas humanas). La variabilidad es una característica intrínseca del clima. Empero, hay cambios específicos y distinguibles en tanto que distintos impulsores y forzamientos — internos y externos al sistema climático— generan efectos sustancialmente diferentes sobre el sistema a los que son esperados dentro de los rangos de su variabilidad natural. El clima ha cambiado y seguirá cambiando a lo largo de la existencia del planeta.

Como se vio en la sección previa, algunos autores consideran que un cambio climático siempre tiene una causa identificable (Hare, 1979, p. 53; Hasselmann, 1997, p. 602; Howe, 2014, pp. 13-14). Existen diferentes técnicas de detección y atribución de los cambios climáticos según sea el conjunto de datos y/o el elemento climático estudiado. Afirmar la existencia de un cambio climático implica la evaluación y ponderación de múltiples evidencias que no se limitan a un solo elemento climático porque las condiciones promedio del sistema Tierra son resultado de una multitud de interacciones complejas de sus elementos en todas las escalas espaciales y temporales.

¿Existe un cambio climático causado por los seres humanos? El surgimiento de esta pregunta puede ubicarse en 1938 tras la publicación del artículo de Guy Stewart Callendar “Producción artificial de dióxido de carbono y su influencia en la temperatura” (*vid. supra.*, cap. 1, p. 14). Y la respuesta es: sí. A medida en que la ciencia climática ha mejorado sus técnicas e instrumentos y se ha ampliado la comprensión del sistema Tierra se ha llegado a un consenso científico respecto a la existencia inequívoca de un cambio climático de origen humano (Oreskes, 2004; Liverman, 2007; Anderegg *et al.*, 2010; Cook *et al.*, 2013).

2.5.1 Cambio en el forzamiento radiativo

Un indicio de la existencia de un cambio climático de origen antrópico es el forzamiento radiativo positivo actual. Esto significa que hay una reducción en el flujo de energía infrarroja radiada hacia el espacio exterior porque esa radiación está siendo absorbida en la atmósfera terrestre por los gases de efecto invernadero de origen antrópico (*vid.*, Fig. 2.12).

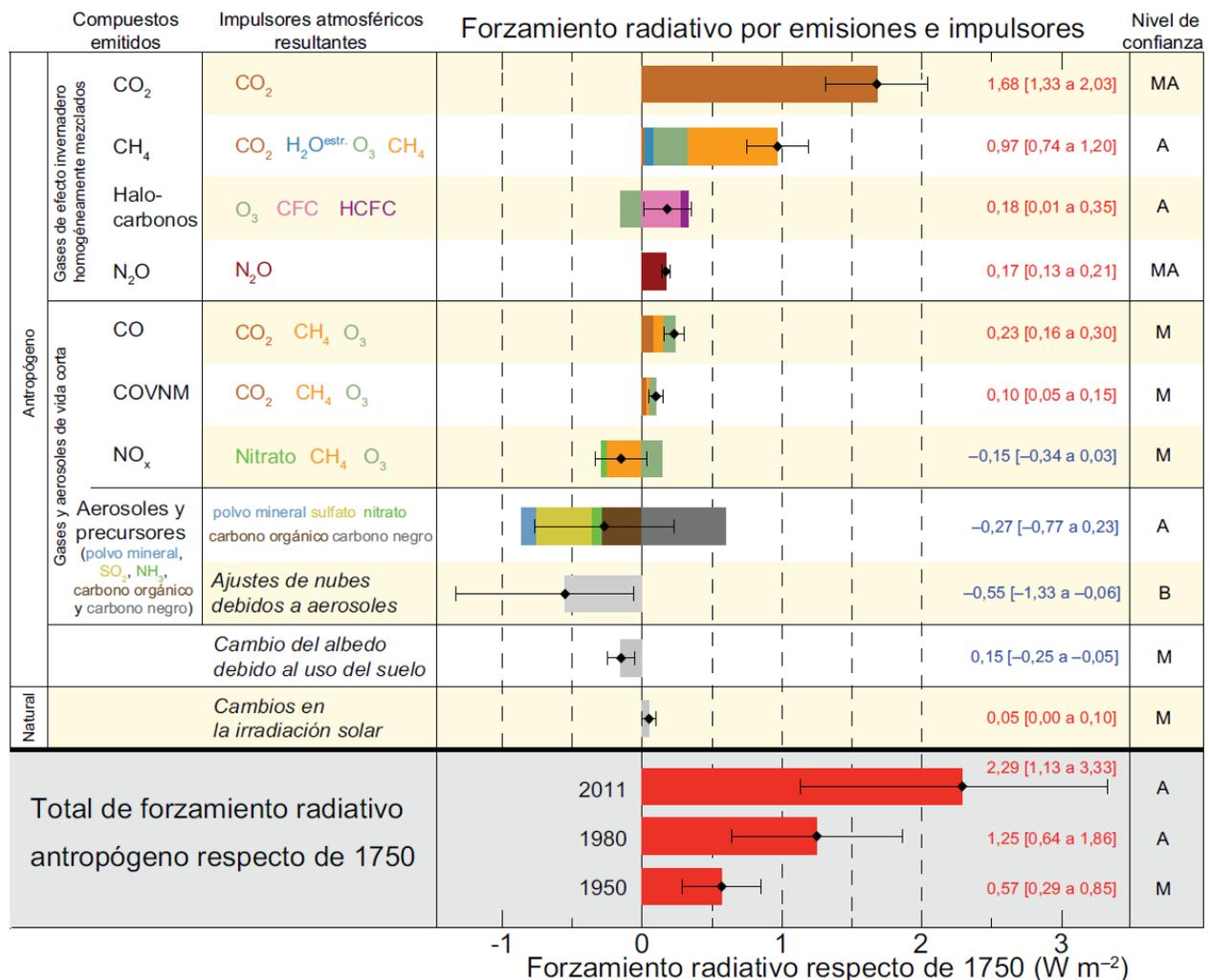


Fig. 2.12 Forzamiento radiativo positivo causado por GEI y aerosoles antrópicos. Las mejores estimaciones se indican con rombos negros entre las líneas de sus respectivos intervalos de incertidumbre. Todos los valores corresponden a W/m². También se indica el nivel de acuerdo científico respecto a cada estimación: B: bajo; M: medio; A: alto; MA: muy alto. Fuente: (IPCC, 2013, p. 14).

El forzamiento radiativo positivo actual no se debe a un cambio en la cantidad de energía recibida del Sol sino a un cambio en las concentraciones atmosféricas de GEI emitidos por actividades productivas humanas, (Hansen *et al.*, 2013, p. 5), (*vid.*, Fig. 2.13).

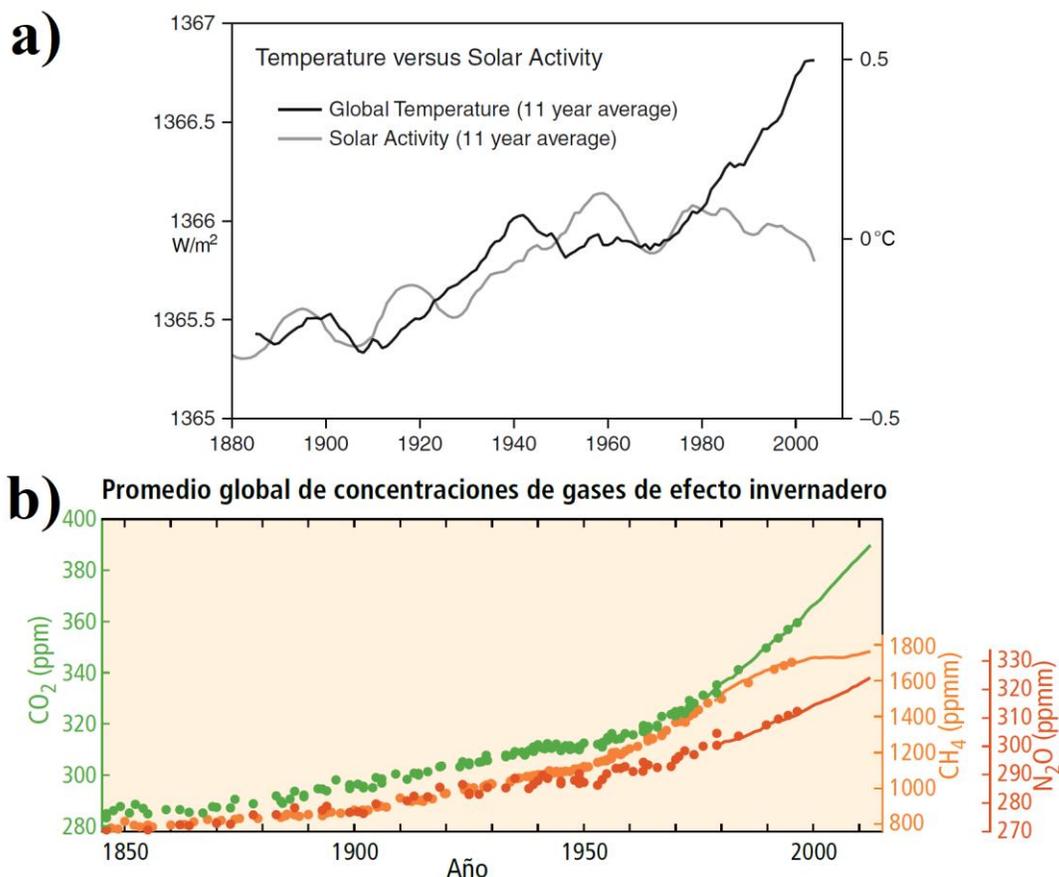


Fig. 2.13 a) Comparación de la temperatura promedio de la superficie terrestre (línea negra) con la irradiación solar (línea gris) durante el periodo 1880-2009; se observa una divergencia importante desde la década de 1980; b) Concentración atmosférica de dióxido de carbono (verde), metano (naranja) y óxido nitroso (rojo) entre 1850-2011; los puntos representan los valores obtenidos en núcleos de hielo y las líneas sólidas corresponden a valores instrumentales directos.

Fuentes: a) (Farmer y Cook, 2013, p. 119); b) (IPCC, 2014, p. 3).

2.5.2 Algunos cambios observados en el sistema climático

El cambio en el forzamiento radiativo sólo afecta a la troposfera, por ello es necesario recabar cambios observados en todos elementos del sistema climático. Algunas evidencias reportadas en la literatura son: (1) el aumento de la temperatura promedio global —cambio en la atmósfera—; (2) el incremento del nivel del mar debido a su expansión térmica —cambio en la hidrosfera—; (3) disminución de la extensión del hielo marino en los polos —cambio en la criosfera—; (4) cambios en los niveles de precipitación (*vid.*, **Fig. 2.14**); (5) acidificación de los océanos (Farmer y Cook, 2013, p. 255); (6) cambios en la dinámica de ecosistemas, de poblaciones, de la distribución de especies y el incremento en su tasa de extinción (IPBES, 2019, pp. 29-30); (7) algunos bosques tropicales ya emiten más CO₂ del que absorben durante

la fotosíntesis tras haber alcanzado un umbral de estrés térmico (Maia *et al.*, 2020) —cambio en la biosfera—.

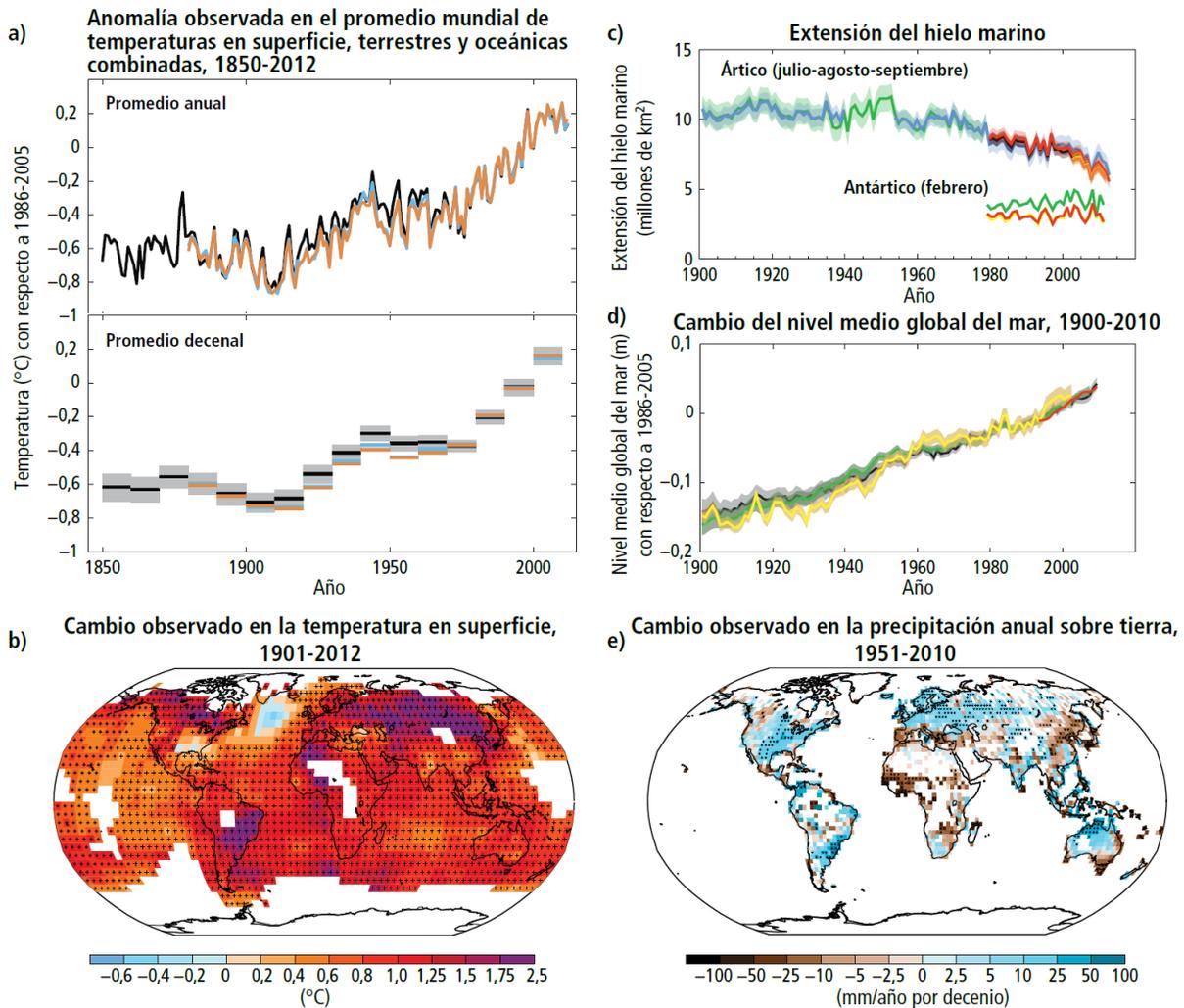


Fig. 2.14 a) Cambio (o anomalía) del promedio anual y decenal de temperatura global de la superficie terrestre del periodo 1850-2012 respecto a la normal climatológica de 1986-2005; b) Cambios observados de temperatura superficial entre 1901 y 2012; los espacios en blanco son por falta de información y los cuadros con un signo “+” representan una tendencia significativa de aumento; c) Promedio de la extensión del hielo marino en el Ártico y en la Antártida; d) Cambio en el nivel medio del mar respecto a la normal de 1986-2005; e) Cambios observados en la precipitación anual entre 1951 y 2010. Fuente: (IPCC, 2014, p. 43).

¿Cómo sabemos que el cambio climático en curso se debe a los forzamientos antrópicos y no a la variabilidad natural del clima? Lo sabemos gracias a la señal distintiva que generan los forzamientos externos antrópicos sobre el sistema climático (*vid.*, Fig. 2.15).

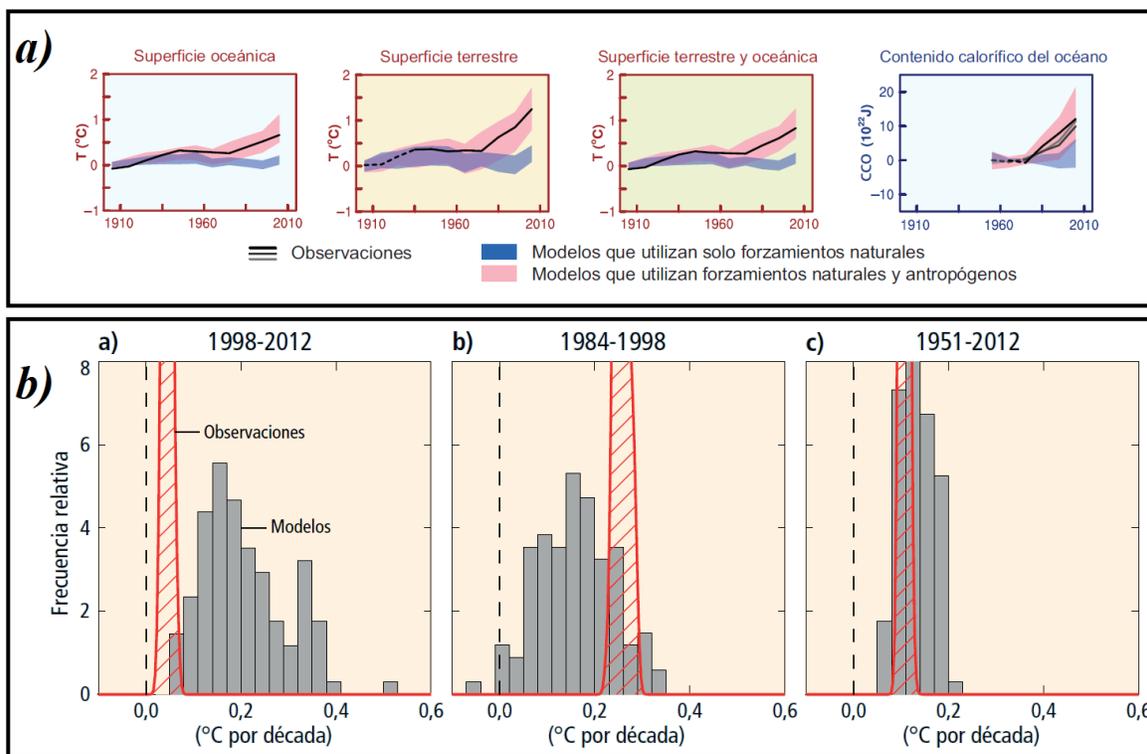


Fig. 2.15 a) Comparación entre los cambios globales del sistema climático según modelos de sólo forzamientos naturales (azul), modelos de forzamientos naturales y antrópicos (rosa) y observaciones (líneas negras y grises continuas —buena cantidad y calidad de datos— y discontinuas —información suficiente—); las observaciones son consistentes con la señal esperada por un cambio climático antropogénico; b) Comparación de las tendencias de temperatura superficial promedio a nivel mundial entre 114 simulaciones de modelos climáticos (barras grises) y observaciones (líneas rojas). La altura de las barras indica la frecuencia de cierto valor en °C arrojados por los modelos; las líneas rojas indican el rango de incertidumbre por la generalización de los datos. Fuentes: a) (IPCC, 2013, p. 74); b) (IPCC, 2014, p. 45).

2.6 Causas del cambio climático antropogénico

El cambio climático en curso está impulsado directamente por un aumento en las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero. A su vez, los GEI antrópicos que están forzando al sistema climático son resultado de diversos procesos productivos y sociales humanos que utilizan intensivamente combustibles fósiles, compuestos químicos sintéticos y/o materia orgánica e inorgánica. Dichas actividades interfieren en los ciclos biogeoquímicos del planeta, principalmente los del carbono, nitrógeno y fósforo (Rockström *et al.*, 2009). Los procesos de obtención y producción de energía y materia prima para los intereses humanos, por medio de la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso de suelo, implican alteraciones ambientales profundas y/o irreversibles (*vid.*, **Fig. 2.16**).



Fig. 2.16 Actividades humanas emisoras de GEI: *a)* Producción de petróleo (extracción de arenas bituminosas en Athabasca, Canadá); *b)* Guerras (aviones de EUA sobre pozos petrolíferos incendiados en Kuwait durante la Guerra del Golfo en 1991); *c)* Cambio de uso de suelo para la agricultura (arrozales en Vietnam); *d)* Minería y producción de cemento (cantera de piedra caliza y productora de cemento en Maastricht, Países Bajos). Fuentes: *a)* James Woodall: <https://hcma.ca/social-sustainability-forgotten-pillar/syncrude-aurora-oil-sands-mine-north-of-fort-mcmurray-canada/>; *b)* US Air Force: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USAF:F-16A_F-15C_F-15E_Desert_Storm_edit2.jpg; *c)* Doan Tuan: https://unsplash.com/photos/Whrmcr_lmjk; *d)* Bert Kaufmann: <https://flic.kr/p/CtAbra>.

La causa subyacente del cambio climático antropogénico en curso es la manera en que la humanidad produce y reproduce sus modos de vida sobre el planeta, industrializados o no (*cf.* Ruddiman, 2003), los cuales emiten diferentes tipos de GEI (*vid.*, **Fig. 2.17**).

No todas las formas de vida colectiva humana impactan de igual manera en el clima. De acuerdo con el más reciente informe de disparidad de las emisiones de la UNEP (2020), en 2015 el 1% de la humanidad —el de mayores ingresos— emitió 5.3 GtCO₂, mientras que el 50% de la humanidad —el de menores ingresos— sólo emitió 2.4 GtCO₂ (*vid.*, **Fig. 2.18**). Además, las actividades militares globales tienen una huella de carbono incluso mayor a la de países enteros (Crawford, 2019, p. 13). Las actividades bélicas de los Estados hegemónicos obedecen a la vigilancia de las cadenas de producción y suministro de combustibles fósiles que sostienen materialmente sus particulares formas de vida intensivos en el uso y consumo de energía y recursos (Liska y Perrin, 2010; Belcher *et al.*, 2020a; Belcher *et al.*, 2020b). El militarismo, por lo tanto, no sólo afecta a lo social sino también al ambiente global.

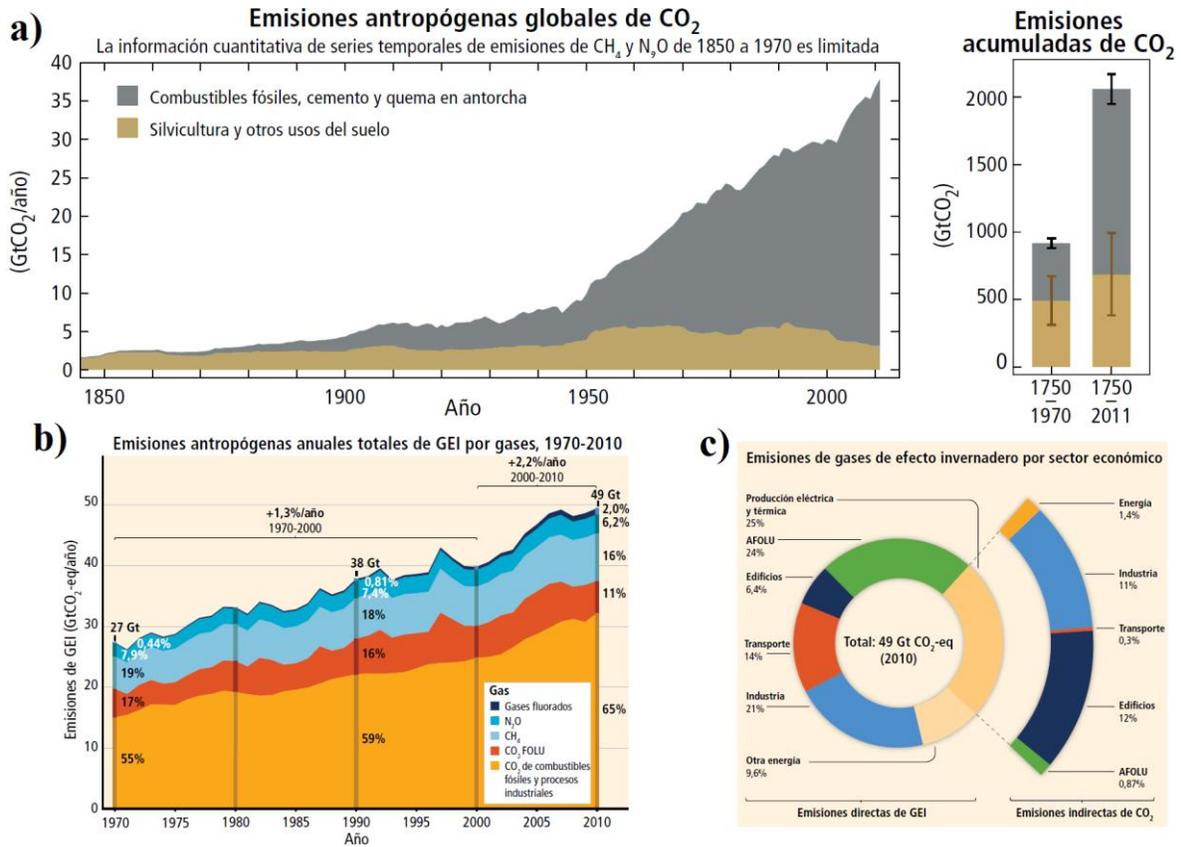


Fig. 2.17 a) Emisiones antrópicas de CO₂ entre 1750-2011; b) Emisiones antrópicas totales en GtCO₂eq entre 1970-2010 desglosadas por tipo de gas y fuente de CO₂ —en rojo las emisiones de silvicultura y otros usos de suelo (FOLU) y en naranja sólo el de quema de combustibles fósiles e industria—; c) Desglose en porcentaje por sector económico emisor de las emisiones antropogénicas totales de 2010. Fuente: (IPCC, 2014, pp. 48-49).

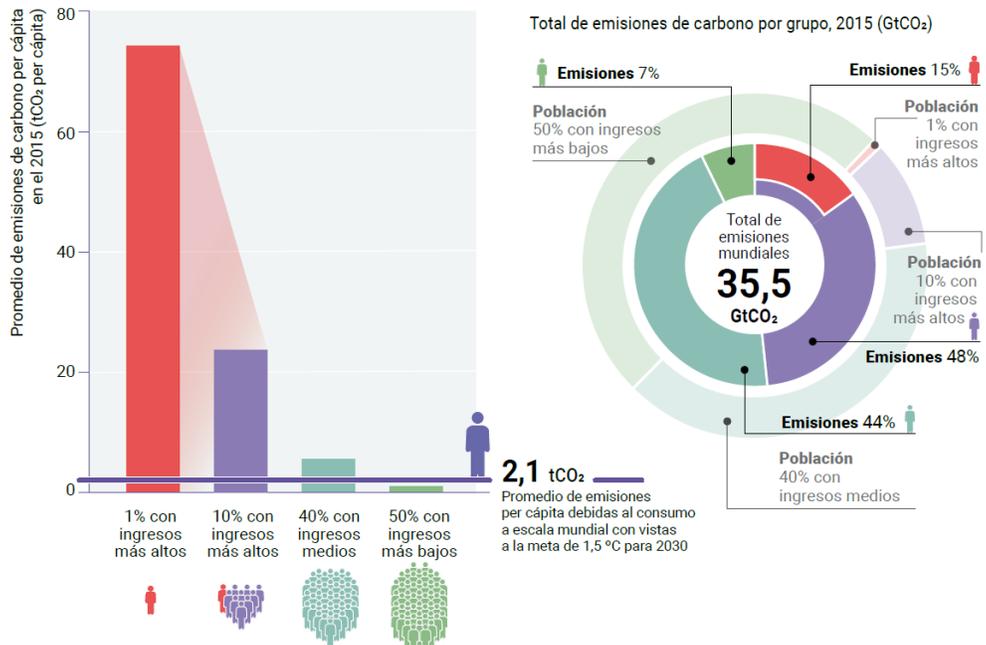


Fig. 2.18 Emisiones mundiales de CO₂ en 2015 per cápita y absolutas por nivel de ingreso. Fuente: (UNEP, 2020, p. XV).

2.7 Escenarios climáticos y futuros posibles

Ante las distintas evidencias y nivel de acuerdo científico que corrobora la existencia de un cambio climático de origen antrópico en curso surge la pregunta sobre sus implicaciones futuras.¹⁰ Realizar pronósticos climáticos, sin embargo, resulta aún demasiado complejo dada la propia naturaleza del sistema climático y las lagunas del conocimiento sobre algunos aspectos del mismo, por ejemplo, retroalimentaciones, umbrales y puntos críticos. Por ello la estrategia para estudiar científicamente las posibles trayectorias climáticas futuras es desarrollar escenarios.

Los escenarios pueden definirse como descripciones de imágenes plausibles, dinámicas, coherentes e internamente consistentes de diferentes estados futuros posibles de un sistema y que cubren un rango significativo de posibles futuros alternativos (Mahmoud *et al.*, 2009, p. 799).¹¹ Los escenarios son tanto un modelo conceptual basado en una narrativa cualitativamente descriptiva pero también, aunque no siempre, como un conjunto de modelos matemáticos o descripciones numéricas, cuantitativas, de los cambios de un sistema.

Tras el *Cuarto Informe de Evaluación* del IPCC de 2007 y con la necesidad de desarrollar mejores herramientas de análisis de escenarios fuera del seno del IPCC la comunidad científica desarrolló las trayectorias de concentración representativas (*Representative Concentration Pathways: RCPs*), conjunto de escenarios basados en modelos de mediano y largo plazo que: (1) exploran cuatro valores de forzamiento radiativo positivo (2.6, 4.5, 6, 8.5 W/m²) encontrados en la literatura y que son representativos de lo esperado por la comunidad científica y cuyos valores tienen una separación significativa suficiente para producir resultados contrastantes y diferenciados; (2) proveen toda la información climática y química para modelaciones diferentes del forzamiento radiativo; (3) armonizan los datos para años base, emisiones y uso de suelo entre tendencias históricas y futuras; (4) cubren el periodo 1850-2100, aunque pueden extenderse a 2300 bajo las ECP (*Extended Concentration Pathways*), (van Vuuren *et al.*, 2011), (*vid.*, **Fig. 2.19**).

¹⁰ Por cuestiones de espacio no se abordan aquí los impactos del cambio climático antropogénico ni vulnerabilidad ni las estrategias específicas de adaptación ni las cuantificaciones de mitigación.

¹¹ Los autores del artículo citado parten explícitamente de la definición del IPCC: “**Escenario** Descripción plausible y frecuentemente simplificada de un futuro verosímil, basada en un conjunto consistente y coherente de supuestos sobre las fuerzas originantes y sobre las relaciones más importantes. Los escenarios pueden estar basados en proyecciones, pero suelen basarse también en datos obtenidos de otras fuentes, acompañados en ocasiones de una descripción textual.” (IPCC, 2007, p. 80).

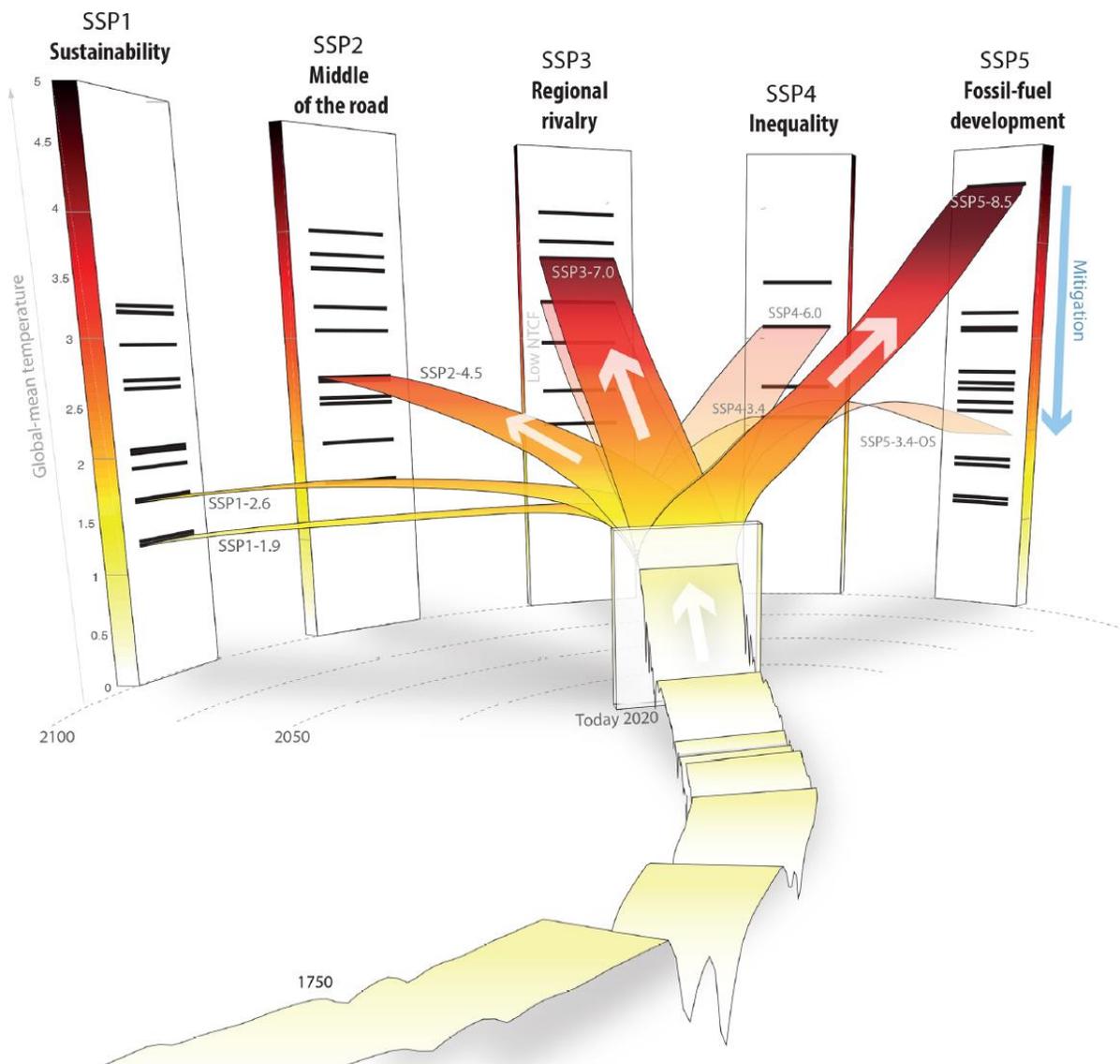


Fig. 2.20 Representación gráfica de las cinco trayectorias SSPs mostrando los aumentos posibles de temperatura promedio sobre la época preindustrial para 2100 a partir del promedio de 2020. Las bandas representan los diferentes escenarios generados por distintas comunidades de modeladores en combinación con distintas RCPs con nuevos valores de forzamiento radiativo considerados en la literatura más reciente. Fuente: (Meinshausen *et al.*, 2020, p. 3577).

En tanto que ciertos valores de forzamiento radiativo sólo pueden alcanzarse mediante políticas climáticas específicas, se hizo evidente la necesidad de incluir una tercera dimensión al análisis de escenarios: los supuestos compartidos de política climática (*Shared climate Policy Assumptions: SPAs*), los cuales pueden definirse como el vínculo narrativo y cuantitativo entre ciertas RCPs y algunas SSPs ya que ambas deben coincidir en por lo menos un escenario.

Las SPAs dan cuenta de los atributos fundamentales de políticas estrictamente climáticas de mitigación y adaptación —tales como objetivos medibles, instrumentos y obstáculos para su

implementación—, además, un SPA debe coincidir por lo menos con algún escenario SSP. Si bien son descripciones de supuestos políticos, su finalidad no es prescriptiva sino meramente descriptiva pero flexible para así permitir y facilitar análisis comparativos. Existen al menos dos tipos de SPAs: (1) totales (*full SPA*), esto es, que incluyen objetivos determinados de mitigación y adaptación, *v.gr.* no rebasar los +2 °C en 2100; (2) reducidos (*reduced SPA*), que excluyen cantidades específicas en objetivos de emisiones, concentraciones y forzamientos y algunos otros aspectos fijos de adaptación (Kriegler *et al.*, 2014, p. 404). Sólo los SPAs reducidos son útiles como tercera dimensión de análisis de escenarios junto a RCPs y SSPs.¹²

La combinación de tres dimensiones de a RCPs, SSPs y SPAs genera un marco de análisis multidimensional de escenarios al dar cuenta de impulsores internos y externos de los cambios climáticos y sociopolíticos así como de sus interrelaciones e implicaciones. La escala temporal es un elemento importante para diferentes elementos, pues la motivación humana a corto plazo genera efectos cualitativa y cuantitativamente diferentes de los cambios geofísicos de largo plazo.

La matriz tridimensional de escenarios es de utilidad para análisis a escalas regionales y nacionales en los cuales, además, junto a un modelo participativo entre investigadores y personas involucradas (*stakeholders*) puede generar al menos cuatro trayectorias de políticas de adaptación (*Adaptation Policy Trajectories: APTs*): (1) intervención mínima —baja inversión en medidas de adaptación—; (2) expansión de las capacidades económicas —crecimiento económico que permite inversiones en medidas de adaptación—; (3) mejoramiento de la eficiencia del sistema —promoción de prácticas sostenibles y de medidas de adaptación basadas en ecosistemas—; (4) reestructuración del sistema (Kebede *et al.*, 2018 pp. 668-670).

2.8 ¿Qué se puede esperar y qué se puede hacer ante el cambio climático antropogénico?

Si bien no podemos contar con pronósticos climáticos exactos sí es posible afirmar que, dado el aumento de temperatura promedio de la superficie terrestre observado —que en 2020

¹² Debido a la relativa novedad de la matriz de escenarios SSPs aún hay muchos tópicos que merecen ser revisados de manera crítica. Puesto que cada escenario tiene una narrativa cualitativa particular, queda la tarea pendiente de analizar los supuestos económicos y políticos en los que se basan, tarea que rebasa los límites de esta tesis.

alcanzó el valor de 1.2 ± 0.1 °C respecto la normal climatológica 1850-1900 (WMO, 2020, p. 3)—, podemos contar con un cambio climático asegurado:

Cambio climático asegurado Debido a la inercia térmica del océano y a ciertos procesos lentos de la *criosfera* y de las superficies terrestres, el *clima* seguiría cambiando aunque la composición de la atmósfera mantuviera fijos sus valores actuales. Los cambios en la composición de la atmósfera ya experimentados conllevan un cambio climático asegurado, que continuará en tanto persista el desequilibrio radiativo y hasta que todos los componentes del *sistema climático* se ajusten a un nuevo estado.

(IPCC, 2013, p. 187).

Dado el desfase temporal de respuesta de los diferentes elementos del sistema climático aún no son visibles todos los efectos del forzamiento antrópico, efectos que podrían ser devastadores si no hay una reducción del forzamiento radiativo positivo actual. En tanto que el CO₂ tiene una vida atmosférica larga y la inercia térmica de los océanos es muy alta, de no cambiar la actual trayectoria climática se podrían disparar retroalimentaciones más allá del control humano que podrían conducir a un calentamiento planetario autosustentado (Hansen *et al.*, 2013, p. 13; Steffen *et al.*, 2018).

El cambio climático antropogénico afectará a cada uno de los componentes del sistema climático terrestre, incluyendo la biosfera:

Se prevé que el cambio climático ganará una trascendencia cada vez mayor como impulsor directo de los cambios en la naturaleza y sus contribuciones a las personas en los próximos decenios. [...] En lo referido a la diversidad biológica y el funcionamiento de los ecosistemas, los escenarios prevén que el cambio climático tendrá efectos mayoritariamente negativos, que se agravan, en algunos casos de manera exponencial, con el aumento del calentamiento global. Aun con un incremento de entre 1.5 °C y 2 °C en la temperatura, se prevén drásticas disminuciones en la mayoría de las zonas de distribución geográfica de las especies terrestres. Dichos cambios podrían afectar adversamente a la capacidad de conservación de especies de las zonas terrestres protegidas, aumentar en gran medida la tasa de recambio de las especies locales e incrementar sustancialmente el riesgo de extinciones globales.

(IPBES, 2019, p. 16).

El cambio climático antropogénico no es un fenómeno meramente atmosférico que pueda reducirse al CO₂ y motores de combustión interna —narrativa reduccionista habitual— sino que es resultado de la manera en que la humanidad en su conjunto habita sobre el planeta, en particular de los modos de vida de sociedades de consumo que dependen de bienes y servicios intensivos en el uso de energía y recursos materiales orgánicos e inorgánicos.

El incremento exponencial en el consumo de materia y energía por parte de las sociedades humanas desde la segunda mitad del siglo XX ha sido llamado por algunos autores la “gran aceleración” (Steffen *et al.*, 2015; McNeill y Engelke, 2014). La tasa de cambio observada en diferentes indicadores planetarios no tiene paralelo en el registro geológico reciente e indica que las actividades productivas humanas están llevando al sistema Tierra a un nuevo estado fuera de la estabilidad del Holoceno. Este cambio planetario ha sido impulsado principalmente por los países de mayores ingresos (Steffen *et al.*, 2015, p. 91), e incluso dentro de esos mismos países la contribución al cambio ambiental ha sido diferenciada, tanto en sus causas como en sus efectos, afectando principalmente a sectores más desfavorecidos.¹³

El cambio climático antropogénico no es una “crisis” espontánea e imprevista sino más bien uno de los múltiples efectos ambientales esperables causados por formas de vida humana en común con un uso elevado de energía y materia orgánica e inorgánica.

Algunas de las propuestas de solución encontradas en la literatura científica son:

- Limitar y revertir las emisiones: (1) de CO₂ por quema de combustibles fósiles a través de la reducción de subsidios para desincentivar su uso y fomentar otras fuentes de energía; (2) por cambio de uso de suelo; (3) de otros gases de efecto invernadero que causan forzamiento adicional. Cambiar el estado actual del clima es una decisión humana dependiente de su libre albedrío (Hansen *et al.*, 2013, pp. 19, 21).
- Cualquier transición hacia la sostenibilidad requiere: (1) presión política por parte de la sociedad; (2) apoyo científico basado en evidencias; (3) liderazgo político; (4) un entendimiento de los instrumentos políticos disponibles, del funcionamiento de los mercados y otros impulsores socioeconómicos del cambio ambiental (Ripple *et al.*, 2017, pp.1-3).
- No hay un único significado político, social e individual de la existencia científicamente demostrada del cambio climático antropogénico. Las respuestas colectivas e individuales serán necesariamente el resultado de negociaciones y acuerdos con personas con puntos de vista disímiles. No hay una manera de evitar o “ganar” la discusión política simplemente apelando a que la ciencia nos “da la razón”.

¹³ “[El Sur global] Es un Sur que existe también en el Norte global, en la forma de poblaciones excluidas, silenciadas y marginadas como son los inmigrantes sin papeles; los desempleados; las minorías étnicas o religiosas; las víctimas de sexismo, de la homofobia y del racismo.” (Santos, 2010, p. 43).

En tanto que aún no hemos llegado al fin de la historia ni hay predestinación, aún hay margen de acción (Hulme, 2020, pp. 3, 5).

- **“Un componente fundamental de las vías sostenibles es la evolución de los sistemas financieros y económicos mundiales para desarrollar una economía sostenible a nivel mundial, que se aleje de las limitaciones del actual paradigma de crecimiento económico.** Ello implica incorporar la reducción de las desigualdades a las vías de desarrollo, reducir el consumo excesivo y la generación de desechos, y hacer frente a los efectos ambientales, como las externalidades de las actividades económicas, tanto a nivel local como mundial. Esa reforma podría facilitarse mediante una combinación de políticas e instrumentos (como los programas de incentivos, las normas de certificación y rendimiento) y mediante sistemas de tributación más coherentes a nivel internacional que cuenten con el apoyo de acuerdos multilaterales y una mejor vigilancia y evaluación ambiental. También debería entrañar un cambio que trascienda los indicadores económicos habituales, como el producto interno bruto, para incluir otros capaces de reflejar perspectivas más holísticas, a largo plazo, de la economía y la calidad de la vida.” (IPBES, 2019, p. 19).

Ante el cambio climático antropogénico “[...] la ciencia nos obliga a elegir cómo queremos responder.” (Klein, 2016, p. 82). En tanto que no hay un “destino” climático la humanidad enfrenta una decisión existencial entre una trayectoria climática cálida autosustentada por fenómenos no lineales o bien una trayectoria favorable para la vida humana tal como la conocemos. Esto significa que la libertad de acción humana no es un mero “valor” o “virtud” ética y política existente sólo en la imaginación de los humanistas sino que es una característica humana capaz de afectar materialmente a la realidad. Las decisiones, acciones y omisiones que se tomen ante el cambio climático en curso no son ni pueden limitarse a meras elecciones éticas individuales.

Las decisiones, acciones y omisiones colectivas y conflictivas que las sociedades humanas tomen frente al cambio climático antropogénico son irrenunciablemente políticas. Sin embargo, el clima ha estado tradicionalmente fuera del horizonte del pensamiento político tradicional, tal como se verá en el siguiente capítulo.

Capítulo 3

El clima, en los márgenes del pensamiento político tradicional

Resumen: A pesar de las reiteradas advertencias científicas sobre la insostenibilidad del modo de producción económico imperante se han efectuado pocos cambios sustantivos para modificar su trayectoria. Uno de los grandes problemas socioambientales que amenazan la existencia presente y futura de las colectividades humanas es el cambio climático antropogénico, respecto al cual, las políticas internacionales de mitigación de emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero (GEI) no han alcanzado sus objetivos. En este capítulo se pregunta si es posible que por lo menos uno de los múltiples factores relevantes del fallo de las políticas climáticas sea de naturaleza teórica. Se ensaya una respuesta filosófica a tal interrogante considerando como elementos necesarios: (1) la importancia de la libertad y agencia humana para la atribución de responsabilidades; (2) la competencia de las ciencias para acceder epistémicamente al mundo; y (3) la importancia de los compromisos ontológicos para comprender las diferentes maneras de describir y explicar el mundo y las acciones humanas. Empero, esos tres aspectos son individualmente insuficientes como respuesta, por ello, se esboza a la filosofía política de la ciencia como un potencial marco conceptual suficiente desde el cual sería posible responder adecuadamente a la interrogante planteada.

Palabras clave: *Cambio climático antropogénico; agencia humana; competencia epistémica de las ciencias; compromisos ontológicos; filosofía política de la ciencia*

El cambio climático se ha convertido en una amenaza para la organización política de las sociedades humanas así como para su existencia presente y futura, al menos así se han expresado científicos y políticos en los últimos años. El 12 de diciembre de 2015, 196 países y organizaciones supranacionales miembros de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (en adelante CMNUCC) firmaron el *Acuerdo de París* que “[...] tiene por objeto reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza [...]” (CMNUCC, 2015, p. 2) sobre la base del reconocimiento de “[...] la necesidad de una respuesta progresiva y eficaz a la amenaza apremiante del cambio climático [...]” (CMNUCC,

2015, p. 1). Casi tres años después, el 10 de septiembre de 2018 en la ciudad de Nueva York, António Guterres, Secretario General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), afirmaba que el cambio climático es el principal problema de nuestra época en tanto que representa una amenaza existencial directa sobre la cual fuimos advertidos por la ciencia desde hace tiempo (Guterres, 2018).

En efecto, la advertencia respecto al aumento de la concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO₂) proveniente de la quema de combustibles fósiles fue hecha por lo menos desde 1963 por la organización no gubernamental (ONG) estadounidense *Conservation Foundation*, con la asesoría del químico estadounidense Charles David Keeling. Dicha organización advirtió que el aumento de CO₂ atmosférico podría causar el aumento de la temperatura promedio de la superficie de la Tierra lo cual, a su vez, derretiría las capas de hielo en los polos y podría tener efectos ambientales adversos sobre muchas especies biológicas (Howe, 2017, p. 93). Medio siglo después, en 2013, el cambio climático ya no era considerado por los científicos como una mera posibilidad hipotética sino que era calificado como una crisis planetaria que ya ponía en riesgo a las futuras generaciones humanas y a otras formas de vida del planeta (Hansen *et al.*, 2013, p. 20).

De acuerdo con Andrew Wilson y Ben Orlove el discurso de “urgencia”, “crisis” y “emergencia” respecto al cambio climático es cada vez más frecuente y ha tenido un aumento significativo durante los últimos veinte años tanto en medios de comunicación masiva, movimientos sociales, artículos académicos y en política internacional, con dos picos durante los periodos de 2006 a 2009 y de 2017 a 2019 (Wilson y Orlove, 2019, p. 33). La voz de alarma sobre los rápidos y potencialmente irreversibles cambios ambientales causados por las actividades humanas no es una simple moda discursiva sino un diagnóstico que la ciencia ha confirmado una y otra vez desde al menos la década de 1960.

3.1 Advertencias científicas del daño ambiental antrópico

Las advertencias científicas sobre el riesgo del colapso ambiental de la Tierra a causa del exponencial crecimiento demográfico y la acelerada expansión de las sociedades industrializadas basadas en un consumo intensivo de energía y recursos se remontan, por lo menos, a la segunda mitad del siglo XX, siendo unánimemente reconocida la obra *Silent Spring* (1962) de la bióloga estadounidense Rachel Louise Carson como el inicio de una nueva

manera de pensar el desarrollo socioeconómico. Carson señaló que el uso indiscriminado de plaguicidas químicos tendría efectos ambientales devastadores sobre ecosistemas enteros, valiosos por sí mismos, lo cual significaba que se “[...] negaba por vez primera la aceptación de la premisa según la cual el impacto y el daño a la naturaleza eran el coste inevitable del progreso.” (Boada y Toledo, 2003, p. 14). La denuncia de Carson, hecha en una obra de comunicación de la ciencia más que en un informe técnico especializado, le valió ser severamente atacada por grupos de presión política y económica, pero su obra también “encendió la mecha” de un nuevo tipo de activismo ambiental en los países occidentales en la década de 1960 —pues desde finales del siglo XIX el ambientalismo estadounidense basaba la protección de áreas naturales sobre la base de valores estéticos y recreativos, no por motivos de valoración biológica (Oreskes y Conway, 2018, p. 121; Klein, 2016, pp. 230-231)—.

Una década después de la publicación de Carson, en 1972 un grupo de científicos, llamado el Club de Roma gracias al apoyo que recibieron del economista y empresario italiano Aurelio Peccei, publicó el libro *Los límites del crecimiento*. El texto presentaba las conclusiones a las que llegaron dichos científicos a partir de un modelo computarizado, ideado y revisado por un equipo del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT, por sus siglas en inglés), sobre cinco factores que interactúan entre sí, con retroalimentaciones positivas y negativas, que determinan y limitan el crecimiento de la humanidad en el planeta Tierra: industrialización acelerada, rápido crecimiento demográfico, desnutrición, agotamiento de recursos no renovables y deterioro ambiental (Meadows *et al.*, 1972, p. 21). El Club de Roma llegó a tres conclusiones: (1) si las tendencias actuales de crecimiento se mantienen inalteradas, entonces llegarán a su límite máximo en aproximadamente 100 años, después de lo cual ocurrirá un rápido descenso poblacional y una pérdida de capacidad de producción; (2) es posible cambiar las tendencias de crecimiento exponencial a favor de una estabilidad tanto económica como ambiental que satisfaga de manera sostenible las necesidades materiales básicas de todas las personas durante mucho tiempo; (3) el equilibrio se alcanzará tanto más pronto cuanto más rápido se actúe (Meadows *et al.*, 1972, pp. 23-24). Ese equilibrio sólo es posible de alcanzar si las tendencias de crecimiento demográfico y del crecimiento de capital logran un balance entre sí (Meadows *et al.*, 1972, p. 171). Puesto que el tiempo es considerado un factor primordial, *Los límites del crecimiento* termina lanzando un llamado de urgencia a la acción pronta para

evitar las consecuencias negativas de un crecimiento humano y productivo exponencial descontrolado (Meadows *et al.*, 1972, p. 182).

Veinte años después del informe del Club de Roma la *Union of Concerned Scientists* publicó en 1992 una carta firmada por más de 1 700 profesionales de la ciencia titulada “Advertencia de los científicos del mundo a la humanidad” en la que aseguraban que el mundo natural y los seres humanos se encontraban en un “curso de colisión” que ponía en riesgo el futuro tanto de las sociedades humanas como el del ambiente, pero podría evitarse con una adecuada administración de los recursos naturales y económicos (Kendall *et al.*, 1992).

En 2009, con un enfoque centrado en establecer parámetros cuantificables y la distancia segura a los límites objetivos, biológicos, químicos y físicos de la Tierra para el sostenimiento de la vida humana, Johan Rockström *et al.*, señalaron que existen por lo menos nueve procesos del sistema terrestre que están bajo diferentes presiones: (1) el ozono estratosférico; (2) los océanos que se acidifican; (3) el uso global de agua dulce; (4) el cambio de uso de suelo; (5) la contaminación química; (6) la carga atmosférica de aerosoles; (7) el cambio climático; (8) la tasa de pérdida de biodiversidad terrestre y marina; (9) los ciclos del nitrógeno y el fósforo (siendo estos elementos esenciales para el sostenimiento de las redes tróficas en el planeta). Según los autores los últimos tres procesos, fundamentales para el sostenimiento de la vida en la Tierra tal como la conocemos hasta ahora, ya han rebasado los “umbrales de seguridad” a causa de las aceleradas actividades productivas humanas (Rockström *et al.*, 2009, p. 472).

Una “segunda llamada de atención de los científicos del mundo a la humanidad”, firmada por 15 364 profesionales de la ciencia de 184 países, fue publicada en diciembre de 2017 y señalaba que hay cuatro áreas preocupantes de daño al planeta Tierra causados por el excesivo consumo material a nivel global así como el rápido y sostenido crecimiento demográfico: (1) la tasa de deforestación; (2) el aumento de la producción agropecuaria —con el consecuente impacto ambiental del cambio de uso de suelo y el uso intensivo de fertilizantes sintéticos—; (3) el evento de extinción masiva en curso; (4) la trayectoria “potencialmente catastrófica” (*potentially catastrophic*) del cambio climático debido al aumento de gases de efecto invernadero (GEI), (Ripple *et al.*, 2017, p. 1026).

En enero de 2020 la *Alliance of World Scientists*, con más de 11 258 científicos firmantes, publicó una advertencia a la humanidad en la que señalan que el planeta Tierra está enfrentado una emergencia climática en tanto que: (1) ya son observables algunos cambios en

el clima que se han presentado antes de lo esperado por la ciencia; (2) que son afectaciones climáticas más severas de lo previsto por muchos científicos; y (3) que esos cambios amenazan la salud de los ecosistemas terrestres y al futuro de la humanidad (Ripple *et al.*, 2020, p. 9).

3.1.1 Amenaza existencial por el cambio climático antropogénico

Cuando en la literatura científica se habla de amenaza, crisis o emergencia climática esto significa, principalmente, que el cambio climático antropogénico pone en riesgo el funcionamiento y organización de las sociedades humanas tal como se han desarrollado hasta el día de hoy y que no hay garantías objetivas de la continuidad de ese estado en el futuro. Por ejemplo, para David Spratt e Ian Dunlop el cambio climático esperado en los próximos treinta años es una amenaza existencial, pues un aumento de +2° C sobre la temperatura promedio de la superficie terrestre implicaría daños graves al ambiente y a la capacidad humana de producción de alimentos, generaría inundaciones de ciudades costeras con la consecuente migración de un estimado de mil millones de personas y, con un aumento superior de temperatura, causaría el colapso de la civilización como tal (Spratt y Dunlop, 2019, p. 9).

En el concepto de amenaza climática hay un fuerte componente social, antropocéntrico, pues se estima que la urgencia y la crisis no son entidades naturales sino condiciones evaluadas por seres humanos como situaciones que podrían llegar a ocurrir y afectar a las personas. En otras palabras, la crisis o emergencia climática se considera una amenaza a la existencia de los seres humanos y sus formas de organización social porque éstas se verán radicalmente dañadas en el futuro a menos que se implementen acciones políticas debidamente planeadas y coordinadas para disminuir los potenciales impactos negativos (Warner y Boas, 2019).

Ejemplos de amenazas climáticas a las sociedades humanas son los siguientes: (a) limitación al acceso a la salud pública o saturación de la demanda de infraestructura sanitaria por efectos climáticos (Butler, 2018, pp. 3-4); (b) el cambio global de +1.5° C de temperatura promedio de la superficie terrestre esperado en las décadas siguientes que potencialmente afectará a la población humana más vulnerable —personas en pobreza y pueblos originarios— y a comunidades dependientes de actividades agrícolas y ribereñas; además se incrementarán los daños a la salud por el aumento en las olas de calor y la expansión geográfica de enfermedades transmitidas por vectores —como la malaria y el dengue—, asimismo, se verán mermadas las

cosechas de maíz, arroz y trigo principalmente en el África Subsahariana, el Sudeste Asiático y en Centro y Sudamérica (IPCC, 2018, p. 11).

A pesar de su uso cada vez más frecuente, la noción de amenaza, crisis o emergencia climática puede criticarse en varios aspectos, baste aquí señalar sólo cuatro: (1) para algunos científicos no tiene sentido considerar al cambio climático antropogénico como un apocalipsis que llegará al alcanzarse ciertas fechas o umbrales porque no todos los posibles escenarios globales de aumento de temperatura son necesariamente catastróficos (Hulme, 2020, p. 2); (2) al tener un componente altamente valorativo, al reducir la amenaza existencial sólo al ámbito humano se ignora la vulnerabilidad de otros seres vivos de los cuales depende el bienestar humano: Chris Thomas *et al.*, consideran que en diferentes escenarios de cambio climático antropogénico proyectado para 2050 puede estimarse la extinción de entre 15 y 35% de las especies biológicas del planeta (Thomas *et al.*, 2004, p. 145), la IPBES afirma que con un aumento de +2 °C de la temperatura promedio de la superficie terrestre se espera una tasa de extinción del 5% de las especies, mientras que un aumento de +4.3 se extinguiría el 16% de especies (IPBES, 2019, p. 39); (3) al depender de juicios de valor políticos, se puede subestimar el daño o utilizar una retórica alarmista que entorpezca las acciones de mitigación y de adaptación al cambio climático antropogénico (Warner y Boas, 2019); (4) al reducir el cambio climático antropogénico a una mera construcción discursiva —como lo hacen autores como Wilson y Orlove (2019)—, se corre el riesgo de que sea una narrativa utilizada simplemente con fines partidarios específicos, lo cual resta importancia a los aspectos materiales de los impactos del cambio climático antropogénico al mismo tiempo que reduce a las ciencias a un mero artilugio político negando así su competencia para el acceso epistémico al fenómeno.

3.2 El clima, en los márgenes del pensamiento político tradicional

Considerando que el clima, entendido como una característica geofísica, es un “telón de fondo” para las sociedades humanas, y que los cambios en el clima y, en particular, los eventos climáticos extremos¹ representan una amenaza a la existencia presente y futura de las

¹ “Extreme climate and weather events, especially changes in extremes, often have greater impacts on ecosystems [...] infrastructure [...] and humans [...] than changes in climate averages. It follows that information on extreme events is needed by decision- and policy-makers charged with planning in various climate-sensitive sectors,

sociedades humanas y a sus formas de organización política, cabe preguntar, ¿por qué nunca antes, al menos en la tradición occidental, el pensamiento político consideró al clima como un factor de importancia política clave sino hasta hace aproximadamente medio siglo? ¿Acaso el clima sólo es visible mediante los “anteojos” de la ciencia y ninguna otra disciplina o saber teórico o práctico es capaz de percibirlo? Antes de intentar bosquejar algunas respuestas teóricas posibles, es necesario hacer un par de aclaraciones sobre estas preguntas y responder a una posible objeción.

La primera aclaración es respecto al término “pensamiento político” empleado en la primera pregunta. Por “político” se entiende aquí al adjetivo específico de las relaciones humanas de poder, polémicas, en conflicto y tensión constante, respecto a la dirección de las acciones colectivas, a la autoridad, el gobierno y las decisiones encaminadas a mantener en el tiempo y el espacio la existencia de una determinada unidad social humana organizada colectivamente (llámese “Estado”, “nación”, “pueblo”, “colectivo”, “sociedad civil”, etc.).

Dos ejemplos de “pensamiento político”, entendido en un sentido muy amplio, son la filosofía política así como la ciencia política, aunque se admite que la segunda, al tener un carácter descriptivo y empírico, ha dado mayor cabida a las cuestiones ambientales gracias a la existencia positiva de legislaciones nacionales e internacionales sobre el tema, aunque lo ambiental sigue siendo hasta cierto punto marginal. Si bien filosofía y ciencia política no son el único tipo de pensamiento político, en este trabajo se les da prioridad en tanto que suelen ser fuente de doctrinas claras, definidas y distintas que suelen influir notablemente en la toma de decisiones soberanas, a menudo de carácter obligatorio y/o coercitivo.

La segunda aclaración es respecto al corte cronológico, el cual se debe a dos razones:

1. El auge a nivel internacional de una amplia legislación ambiental desde la década de 1960: en el periodo 1963-1980 transcurrió lo que Naomi Klein denomina la “edad de oro de la legislación medioambiental”, es decir, una proliferación en diversos países de medidas jurídicas encaminadas a proteger de la destrucción o contaminación a diversos elementos ambientales y a establecer sanciones económicas a quienes infrinjan tales normativas:

especially if events previously considered extreme become increasingly routine in a changing climate [...].” (Walsh *et al.*, 2020, p. 1).

En Estados Unidos, el legado legislativo de ese periodo es particularmente impactante [...] En total, 23 leyes medioambientales federales fueron aprobadas en el transcurso de la década de 1970 [...] Estas victorias en Estados Unidos trascendieron [...] El Gobierno federal canadiense aprobó su propia Ley del Agua (1970) y su Ley de Limpieza del Aire (1971) [...] Mientras tanto, la Comunidad Económica Europea declaró en 1972 la protección del medio ambiente como una de sus prioridades [...] la de los setenta se convertiría en una década fundacional para el derecho medioambiental internacional que dio pie a hitos tales como el Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias (1972), la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (1973) y el Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia (1979).

(Klein, 2016, pp. 252-253).

México también fue parte de esa intensa legislación ambiental dentro de la cual destacan la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación de 1971, la creación en 1973 de la Comisión Nacional de Obras en Parques Nacionales (1973) y la Ley Federal de Protección al Ambiente promulgada en 1982 (Valverde y Cruz, 2013, pp. 146-147). Los problemas ambientales y atmosféricos, tales como la lluvia ácida causada por la quema de carbón mineral en centrales eléctricas, motivaron al gobierno de Suecia a proponer en 1968 ante la ONU la realización de una conferencia internacional para tomar medidas políticas internacionales de protección ambiental, petición que desembocó en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano en Estocolmo, en 1972, en la cual “[...] los delegados de 113 Estados acordaron un plan de acción en el cual se precisaban las aportaciones consideradas necesarias para afrontar la crisis ambiental, con la educación como uno de los caminos considerados indispensables.” (Boada y Toledo, 2003, p. 18).

2. El interés político por cuestiones climáticas se demuestra, entre otras formas, por la petición de informes científicos y técnicos sobre los impactos sociales y ambientales del cambio climático, los cuales no son anteriores a la década de 1960. Uno de los primeros fue el elaborado por el Comité de Asesoramiento Científico del Presidente de Estados Unidos de América elaborado en 1965 sobre el daño por contaminación y las opciones de restauración ambiental, el cual contenía un apéndice sobre el papel del CO₂ como contaminante y generador de un cambio climático de origen antrópico

(Howe, 2017, p. 96).² Y “[...] aunque el CO₂ no consiguió mucha atención en la década de los setenta, el clima sí, pues hambrunas relacionadas con la sequía en África y Asia atrajeron la atención hacia la vulnerabilidad de los suministros mundiales de alimentos.” (Oreskes y Conway, 2018, p. 292). Los daños causados por sequías y monzones entre 1968 y 1972 motivaron a que la Agencia Central de Inteligencia de los Estados Unidos de América (U. S. CIA por sus siglas en inglés) elaborara en 1974 un par de reportes sobre el estado de la ciencia climática —que en esa época se debatía entre la idea del próximo comienzo de una nueva edad de hielo o la incipiente evidencia de un calentamiento global de origen humano (*vid. supra*, cap.1, p. 22)— y sobre las dificultades alimentarias de la década de 1970 (Howe, 2017, pp. 151-152).

Es posible, sin embargo, objetar que no es el caso que el clima haya sido un tema ajeno al pensamiento político occidental moderno, pues Charles-Louis de Secondat, barón de Montesquieu, dedicó la tercera de las seis partes de su obra *El espíritu de las leyes* (1748) a las leyes en relación con el clima. Empero, el texto del francés no se refiere al clima ni como una característica propia del planeta Tierra —con una existencia “objetiva”, distinta e independiente de los seres humanos— ni mucho menos en el sentido científico actual del término —*i.e.*, como un estado del sistema Tierra cognoscible mediante la comparación estadística de variables y determinantes a lo largo de un periodo de tiempo específico— sino a los efectos del clima regional sobre la constitución fisiológica de las personas sometidas a distintas leyes.³

En Montesquieu el clima no es como tal, en cuanto una característica *geofísica*, una preocupación política *per se*, al menos no es entendido como una amenaza física y ambiental capaz de destruir inmediatamente instituciones, comportamientos y agentes políticos sino simplemente un factor que de manera *mediata* influye en, pero no causa, el carácter de las personas que son sujetos políticos.

² “El informe consiguió llegar a la Oficina del Presidente y Lyndon Johnson lo mencionó en un mensaje especial al Congreso ese mismo año [1965]: «Esta generación va a alterar la composición de la atmósfera a una escala global por... un aumento firme del dióxido de carbono procedente del uso de combustibles fósiles.» (Oreskes y Conway, 2018, p. 292).

³ “If it is true that the character of the spirit and the passions of the heart are extremely different in the various climates, laws should be relative to the differences in these passions and to the differences in these characters.” (Montesquieu, 1989, p. 231).

Montesquieu no fue un innovador respecto a las relaciones entre el clima y el comportamiento político sino que, en cierto sentido, fue uno de los últimos herederos de la tradición corográfica de los siglos XVI y XVII. La narrativa corográfica fue un género literario en el cual los europeos que se aventuraban a regiones geográficas diferentes a las propias u otros continentes de ultramar narraban las características sociales, políticas, físicas y biológicas de los lugares que visitaban y, a juicio de Barbara Shapiro, puede describirse como una mezcla de historia civil e historia natural elaborada por viajeros-testigos que ofrecían su testimonio de las cuestiones de hecho humanas y naturales que experimentaban (Shapiro, 2000, p. 66).⁴ Por lo tanto, en la obra de Montesquieu aún se percibe la idea de que el clima, junto a otros factores locales, influye de manera indirecta en el carácter de los seres humanos sujetos a las leyes políticas que rigen a las naciones en regiones particulares del mundo y, por lo tanto, el clima no es considerado como un factor geofísico cambiante que irrumpe violentamente en el horizonte futuro de la existencia política de las sociedades humanas.

Otra prueba de que el clima y, en particular, el cambio climático natural no era tema de preocupación política hasta hace medio siglo es un informe de 1974 de la Agencia Central de Inteligencia de los Estados Unidos de América que afirma:

El clima no ha sido un factor de importancia primordial en los análisis de inteligencia porque, hasta fechas recientes, no ha causado perturbaciones significativas en las condiciones de las naciones importantes. Esto es así porque durante 50 de los últimos 60 años la Tierra ha disfrutado, en promedio, del mejor clima agrícola desde el siglo once.

(U. S. Central Intelligence Agency, 1974, p. 1).⁵

Incluso hoy en día, a pesar de las constantes llamadas de urgencia y emergencia, parece haber poco interés político en la información científica sobre el cambio climático antropogénico, tal como lo sugiere un estudio pionero de Lutz Bornmann, Robin Haunschild y Werner Marx (2016). Los autores recurrieron a bases de datos cuantitativos alternativos

⁴ “Chorography was a rather peculiar early modern genre that combined history, geography, topography, natural history, antiquities, and genealogy with socioeconomic, political, and cultural description of a particular region. Typically, it followed a preexisting pattern of topics that included soil, climate, agricultural products, manufactures, rarities, monuments, architecture, and remains of antiquity and thus tended to focus on the description of «things» available to the eye both of human and natural origin.” (Shapiro, 2000, p. 65).

⁵ “Climate has not been a prime consideration of intelligence analysis because, until recently, it has not caused any significant perturbations to the status of major nations. This is so because during 50 of the last 60 years the Earth has, on the average, enjoyed the best agricultural climate since the eleventh century.” (U. S. Central Intelligence Agency, 1974, p. 1).

(*Altmetrics*) para, a partir del minado digital de textos, determinar la cantidad de veces que los artículos científicos sobre el cambio climático han sido citados en reportes de evaluación (*assessment reports*) —textos que consideran de carácter político— elaborados por organizaciones nacionales e internacionales de Norteamérica y Europa, *v.gr.*, la Organización Mundial de la Salud, el Comité Internacional de la Cruz Roja, la UNESCO, el Fondo Monetario Internacional o el Banco Mundial. El análisis mostró que de 191 276 publicaciones científicas revisadas por pares (*peer review*), sólo el 1.2% ($n= 2\ 341$) había tenido por lo menos una mención en un documento político, sobre todo, si habían sido publicados en las revistas *Nature* y *Science* en las áreas de ciencias ambientales y de la Tierra o en geografía social y económica (Bornmann, Haunschild y Marx, 2016, pp. 1490-1491). Si bien hay varios aspectos metodológicos que influyen en los resultados —tales como los límites de información disponible o la limitada cantidad de instituciones y literatura revisadas—, los autores mencionan que hay dos razones posibles que explican ese bajo porcentaje de citación: (1) no es necesario que los documentos políticos mencionen todos los artículos en los que se basan; (2) es posible que exista poca interacción entre investigadores y tomadores de decisiones (*policy makers*), (Bornmann, Haunschild y Marx, 2016, p. 1491).

El clima permanece en los márgenes del pensamiento político tradicional no sólo porque el conocimiento científico sobre el tema sea relativamente reciente (como se vio en el capítulo 1) o porque exista incertidumbre respecto a lo que es posible y esperable sino porque —entre otras razones posibles— aún no ha afectado el núcleo temático central del pensamiento político que sigue asumiendo sin más que las cuestiones ambientales son hechos más o menos variables pero que a corto y mediano plazo pueden asumirse como estables y favorables a los intereses humanos. No parece ser, entonces, una simple cuestión de una falla en el acceso epistémico o una falta de conocimiento científico suficiente sobre el tema.

3.2.1 El fallo de las políticas internacionales de mitigación del cambio climático antropogénico

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) se creó en 1992 con el objetivo declarado de limitar las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero (GEI) para evitar que afecten al sistema climático terrestre y, desde 1995, los países firmantes se reúnen anualmente en las llamadas Conferencias de las Partes (COP) para

negociar y establecer acciones comunes para contrarrestar las causas subyacentes del cambio climático antropogénico. A pesar de que estas políticas internacionales tienen más de veinticinco años de existencia, los avances reales en la limitación del cambio climático antropogénico son prácticamente inexistentes.

En 1997 con el *Protocolo de Kioto* la CMNUCC estableció como meta internacional reducir para 2012 las emisiones globales de GEI en un 5.5% menos respecto a las emitidas en 1990 — calculadas en 38 gigatoneladas (Gt)⁶— (Molina, Sarukhán y Carabias, 2017, p. 147). Durante la COP 15 realizada en Copenhague, Dinamarca, en 2009 se estableció como objetivo político el limitar las emisiones de GEI para evitar antes de 2100 el aumento de +2° C de la temperatura respecto a la época preindustrial, acuerdo que fue formalmente establecido en la COP 16 celebrada en 2010 en Cancún, México. Posteriormente, en el *Acuerdo de París* firmado en 2015, las partes de la CMNUCC establecieron como meta para 2030 o bien evitar un aumento de la temperatura de la superficie terrestre 2 °C mayor a valores preindustriales o bien evitar la emisión anual global de más de 55 Gt de GEI antrópicos (CMNUCC, 2015, p. 17).

El Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés), al comparar los datos del IPCC con las cantidades metas de la CMNUCC, ha mostrado desde 2010 que existe una disparidad o brecha importante (*gap*) entre las emisiones reales de GEI a nivel global y la cantidad objetivo establecida por la CMNUCC, lo cual, con justicia puede considerarse un fallo, un fracaso incluso, en la efectividad de las medidas y políticas climáticas internacionales de mitigación del cambio climático antropogénico.⁷

Mientras los modelos climáticos del IPCC señalan que para evitar el incremento de más de 2° C sobre la temperatura preindustrial (tomando el año 1750 como referencia) se deben emitir anualmente entre 35 y 45 GtCO₂eq de gases de efecto invernadero,⁸ las emisiones antrópicas

⁶ Gigatonelada: Gt= 1 x 10⁹ = mil millones de toneladas métricas.

⁷ “**Medidas.** Tecnologías, procesos y prácticas que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero o sus efectos por debajo de los niveles futuros previstos [...] como [...] las tecnologías de energía renovable, los procesos de minimización de desechos, los desplazamientos al lugar de trabajo mediante transporte público, etc.” (IPCC, 2007, 84). “**Mitigación (del cambio climático) [...]** Intervención humana encaminada a reducir las fuentes o potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero. [...]” (IPCC, 2014, p. 135).

⁸ “**Concentración de CO₂-equivalente [...]** Concentración de dióxido de carbono (CO₂) que produciría el mismo forzamiento radiativo que una mezcla dada de CO₂ y otros componentes de forzamiento. Esos valores pueden tener en cuenta únicamente los gases de efecto invernadero (GEI) o una combinación de GEI, aerosoles y cambio del albedo de la superficie.” (IPCC, 2014, p. 130).

reales de GEI registradas son muy superiores y con una alarmante tendencia al alza (*vid., Tabla 3.1*).

Tabla 3.1 Emisiones antrópicas de GEI anuales (medidas en GtCO₂eq)

Cantidad meta según la CMNUCC (emisiones antrópicas anuales máximas de GEI)	Emisiones antrópicas anuales reales de GEI (industriales y por cambio de uso de suelo)	
	Cantidad	Año
35 - 45 GtCO₂eq	50.1 GtCO ₂ eq	2010*
	52.7 GtCO ₂ eq	2011 [†]
	53.5 GtCO ₂ eq	2012 [†]
	48.9 GtCO ₂ eq	2013 [‡]
	52.7 GtCO ₂ eq	2014*
	36.2 GtCO ₂ eq (sólo emisiones industriales)	2015*
	51.9 GtCO ₂ eq	2016*
	53.5 GtCO ₂ eq	2017*
	55.8 GtCO ₂ eq	2018*
	59.1 GtCO ₂ eq	2019*

Fuente: Elaboración propia a partir de: (*UNEP: 2013; 2015; 2016; 2017; 2018; 2019; 2020; [†]Banco mundial, 2021; [‡]Ritchie y Roser, 2021).

¿Por qué las políticas climáticas internacionales están fallando? ¿Cuáles pueden ser algunos de los factores que han provocado la insuficiencia de las medidas para mitigar el cambio climático antropogénico? Sin duda alguna, las dificultades materiales y económicas para implementar acciones a escala global son un factor importante. Sin embargo, en esta investigación se considera que los factores explicativos de dicho fallo no son una cuestión pura o exclusivamente técnica o práctica sino que también hay factores teóricos importantes que interfieren en la comprensión, valoración y respuesta ante el cambio climático antropogénico entendido este último también como un problema político y no puramente “ambiental”.

El cambio climático antropogénico es un problema político por (1) representar una amenaza por igual a la existencia de las sociedades humanas políticamente organizadas o desorganizadas; (2) porque su causa está relacionada con formas de producción y reproducción social regidas por criterios económico-políticos; (3) porque su comprensión implica procesos sociales polémicos; y (4) porque su solución —no exenta de discusiones,

debates, acuerdos y desacuerdos— implica acciones colectivas coordinadas regidas normativamente por reglas, entre otras, de derecho nacional e internacional.

Puntualizando, la pregunta que guía esta investigación es la siguiente: ¿Es posible que uno de los factores principales del fracaso de las políticas internacionales de mitigación del cambio climático antropogénico sea que el pensamiento político, tradicionalmente antropocéntrico, no esté valorando ni comprendiendo adecuadamente tanto el rol materialmente determinante de un clima terrestre estable para la viabilidad de las sociedades humanas así como la importancia del conocimiento científico sobre el tema?

Puesto que se indagan aquí los factores teóricos que influyen en las propuestas políticas de mitigación de las causas antrópicas del cambio climático, la reflexión filosófica es una vía competente para tratar la cuestión, no por una cuestión de “orgullo disciplinario” sino porque es un enfoque razonable ante la naturaleza de la pregunta que se busca responder y porque es un enfoque pertinente en tanto que en la filosofía es necesaria la elección partidaria de alguna manera de comprender y valorar la realidad ante problemas que no tienen una solución única o no son decidibles en términos de saber objetivo o puramente positivo.

Desde que se tiene consciencia de que hay más de un enfoque y respuesta razonable posible sobre la cuestión, resulta pertinente una respuesta que permita esclarecer, enunciar, explicar, justificar y asumir los compromisos epistemológicos, metafísicos, éticos y políticos que influyen en nuestra consideración de la realidad. En tanto que las elecciones teóricas respecto a las cuestiones de hecho —positivas— son elecciones que no necesariamente pueden justificarse en última instancia por los hechos mismos, sino que implican decisiones teóricas, de segundo orden —muchas veces sólo justificables en términos conceptuales a pesar de tener una base empírica material— recurrir a la filosofía no es sólo posible sino necesario.

Si bien las cuestiones teóricas no son el único factor explicativo del fallo de las políticas climáticas internacionales, comprender el papel que juega la teoría en la valoración, comprensión y explicación del cambio climático antropogénico puede estimular la generación de respuestas efectivas, creativas, incluyentes y participativas desde las ciencias, las humanidades y la ciudadanía.

3.3 Tres posibles respuestas teóricas explicativas del fracaso de las políticas internacionales de mitigación del cambio climático antropogénico

Las implicaciones sociopolíticas y ambientales del clima en cuanto característica geofísica del planeta Tierra y, en particular, de los cambios climáticos rápidos o abruptos —*i.e.* los que ocurren en décadas en comparación con los que tardan siglos o milenios— han sido un tema ausente o totalmente ajeno al pensamiento político occidental tradicional por diversas razones. Sólo hasta hace medio siglo cobró relevancia en tanto que varias sequías regionales en distintos continentes afectaron al sistema de distribución mundial de alimentos. ¿Es posible que exista por lo menos un factor teórico que explique por qué el pensamiento político falla a la hora de comprender la importancia de un clima terrestre estable para la viabilidad de las sociedades humanas así como la importancia del conocimiento científico sobre el tema? A continuación exploraremos tres respuestas teóricas posibles.

3.3.1 Respuesta 1: Diferencia entre la cultura científica y la humanística y política

La importancia de una adecuada comprensión teórica de problemas de interés humano puede resumirse en el proverbio que dicta “una pregunta bien planteada ya está medio resuelta”. Si el pensamiento político no está resolviendo adecuadamente las causas del cambio climático antropogénico es posible que la causa teórica subyacente sea la franca ignorancia sobre el tema por parte de quienes cultivan el pensamiento político y de quienes toman decisiones políticas.⁹

La ignorancia puede ser resultado de la historia de una tradición académica extendida en los países occidentales que ha terminado por disociar el ámbito de las ciencias naturales y la tecnología (ejercida por expertos) del ámbito de las humanidades (ejercida por intelectuales),

⁹ Bruno Latour afirma en su texto *Dónde aterrizar* que quienes han comprendido mejor la dimensión de la emergencia climática son las élites políticas que intentan defender su forma de vida separándola del resto de la humanidad a través del fomento, con alevosía, del negacionismo climático. La afirmación de Latour es polémica porque, en sus propias palabras, es una hipótesis de “política ficción”: “La hipótesis parece inverosímil: la idea de negación remite demasiado a una interpretación psicoanalítica; se acerca en exceso a una teoría del complot [...] Sin embargo, es posible documentarla suponiendo razonablemente que la gente sospecha muy pronto que le ocultan información y actúa en consecuencia [...] A falta de pruebas flagrantes, los efectos son palmarios.” (Latour, 2019, p. 32). El argumento de autoridad del francés —en una obra más bien polémica que académica— es sólo una de las interpretaciones posibles sobre el tema, la cual no se comparte ni se defiende en esta investigación.

disociación tanto institucional como de la manera de comprender el mundo, incluyendo la valoración del papel de los seres humanos y sus acciones.

Uno de los primeros autores en señalar esa disociación epistemológica y disciplinar fue el científico y funcionario británico Charles Percy Snow. En la Conferencia Rede que dictó en Cambridge en mayo de 1959 y en la posterior réplica a las críticas de 1963, Snow argumentó que en los países más industrializados de la civilización occidental se han formado dos culturas claramente diferenciables: (1) la cultura de los intelectuales literarios que defienden una visión egoísta del ser humano —expresada en los literatos modernistas—; y (2) la cultura científica que se interesa en ofrecer soluciones efectivas a los problemas más apremiantes que aquejan a la humanidad. La existencia de estas dos culturas entraña un problema socialmente relevante: carecen de una comunicación efectiva entre sí, de lo cual se deriva la falta de comprensión tanto de los problemas derivados del rápido desarrollo de ciertas herramientas tecnológicas así como de la gran desigualdad entre ricos y pobres que aflige a gran parte de los seres humanos.

Para Snow, en términos muy generales, mientras los miembros de la cultura científica apoyan la industrialización del mundo como solución a la brecha entre ricos y pobres, los intelectuales literarios “[...] nunca intentaron, quisieron ni pudieron entender [los efectos benéficos de] la revolución industrial, y mucho menos aceptarla. Los intelectuales, en particular los literarios, son ludditas naturales.” (Snow, 1959, p. 92). Snow consideraba que “Hacer el bien simple y llano que ésta [*i.e.*, la ciencia] puso en nuestras manos es [...] más difícil, más exigente en cualidades humanas y a largo plazo mucho más enriquecedora para todos.” (Snow, 1963, p. 157). La solución a este problema, estimaba Snow, es una educación adecuada en la que no exista ni ceguera ni sordera deliberada entre diferentes disciplinas sino una visión equilibrada entre las dos culturas lo cual resulta cada vez más difícil en un mundo académico tendiente a la alta especialización.

Si bien los breves escritos de Snow sólo son bosquejos teóricos, señalan una división disciplinar con importantes consecuencias teóricas y prácticas: la mutua ignorancia de tópicos, problemas y respuestas de cada cultura disciplinar muchas veces impide la cooperación académica y sociopolítica. Esta incapacidad de acuerdo teórico y práctico va más allá de la simple falta de “cultura general” de los estudiosos: “[...] las «dos culturas» siguen dándose la espalda [...] recordatorio de que la modernidad tuvo dos puntos de partida distintos: uno

humanista, fundado en la literatura clásica, y otro científico, basado en la filosofía natural del siglo XVII.” (Toulmin, 2001, p. 77). Desde esta perspectiva, mientras las tecnociencias se han entronizado como el medio teórico y práctico más adecuado para diagnosticar y resolver los problemas que aquejan a las sociedades contemporáneas, las humanidades son vistas como un mero capricho sin mayor utilidad o beneficio social, económico o práctico. Este juicio se extendería al pensamiento político, el cual, además, es comúnmente tachado por visiones más tecnocráticas, de agitador de pasiones y tergiversador de los dichos y los hechos.

Lo que Snow denomina “cultura científica” representa la visión de la ciencia que, en un espíritu muy baconiano, encuentra en la comprensión de las cadenas causales, en las correlaciones, en las asociaciones estadísticas, etc., el quid de la realidad que al ser comprendido se le puede “obedecer” conscientemente para manipularlo en búsqueda de beneficios humanos (ya sea para toda la humanidad como piensa Snow o bien para beneficio particular como ocurre con la ciencia hecha en laboratorios de empresas privadas).

Por otro lado, lo que Snow denomina “cultura literaria” representa la idea del ser humano como un ser libre y autónomo, es decir, carente hasta cierto grado de determinaciones y que, por lo tanto, tiene la capacidad de elegir y actuar de maneras impredecibles o no regidas totalmente por una cadena de determinaciones causales predecibles, inevitables o necesarias, por ello la “creatividad” o “espontaneidad” ha sido históricamente juzgada como signo distintivo de esa libertad metafísica que diferencia a los seres humanos del resto de la realidad.¹⁰

Ahora bien, la cuestión de la libertad humana no sólo opera a nivel de creaciones artísticas y caprichos estéticos sino que es un concepto central para la *atribución de responsabilidad* ética y política y, por lo tanto, de la justicia (sea cual fuere su definición —justicia como igualdad,

¹⁰ “Porque todo lo que es casual lo es sólo *relativamente*. Porque en el mundo real, que es donde nos tropezamos con lo accidental, toda realidad es *necesaria* en relación a su *causa*, pero en relación a todo lo demás con que concurre en el tiempo y en el espacio, es accidental. Como lo *libre* lleva como característica la ausencia de toda necesidad, tendrá que ser lo que no depende en absoluto de ninguna causa, definiéndose, por tanto, como lo *absolutamente casual*: concepto sumamente problemático cuya posibilidad de ser pensado no garantizo, y que, sin embargo, coincide sorprendentemente con el de *libertad*. De todos modos, lo *libre* es lo que en ningún aspecto es necesario [...] Este concepto, si lo aplicamos ahora a la voluntad humana, querría decir que una voluntad individual no estaría determinada en sus manifestaciones (actos de voluntad) por causas o razones suficientes en general; que, además, como la consecuencia de una razón dada (de cualquier clase que sea) es siempre *necesaria*, sus actos no serían libres, sino necesarios. Aquí se apoya la definición de Kant, según la cual la libertad es la facultad de dar comienzo *uno mismo* a una serie de variaciones. Porque este «uno mismo», en su verdadero significado, quiere decir «sin causa precedente», lo cual es idéntico a «sin necesidad».” (Schopenhauer, 2010, pp. 50-51).

como equidad, como obediencia ciega a las leyes, etc.—). Si las acciones humanas son elegidas sin determinaciones “naturales” inevitables, o hasta cierto grado más allá de ellas, entonces las personas —de manera individual o colectiva por mutuo acuerdo— son capaces de iniciar cadenas causales en el mundo que, de otra manera, no podrían existir. Por ejemplo, quemar millones de toneladas de combustibles fósiles en motores de combustión interna o calderas, cambiar la forma de organizarse colectivamente, ayudar o no a otras personas, etc. No es casualidad la existencia de por lo menos dos grandes bloques disciplinares y de comprensión intelectual compleja de la realidad. Es importante comprender la estructura material de la realidad pero también la libertad y responsabilidad de las acciones humanas son relevantes para la conformación y funcionamiento de las sociedades contemporáneas.

Si bien es cierto que no hay una unidad monolítica respecto a la manera de entender la realidad en cada una de las dos culturas es innegable que las humanidades, a diferencia de las ciencias naturales, tienen un carácter antropocéntrico irrenunciable —en tanto que sus proponentes y destinatarios son seres humanos— aunque su alcance no es necesariamente universal (dado el origen clasista de la formación humanística)¹¹ pero no es un antropocentrismo inevitable, tal como lo demuestran algunas corrientes ecocéntricas radicales de la ética ambiental.

Por otro lado, actualmente no es posible afirmar que la cultura científica sea un fenómeno social unitario, con visiones únicas y que como un todo busque beneficiar a toda la humanidad, pero sí es posible mencionar que hay ciertas disciplinas en las cuales existe y se cultiva una búsqueda de emancipación social a través del conocimiento del mundo, *v. gr.* la ecología política.

¹¹ Algo que ha sido constantemente señalado y criticado por algunos pensadores y filósofos de regiones periféricas es el carácter profundamente heleno-eurocéntrico de “las humanidades”, las cuales reciben su nombre no porque se dediquen al estudio, cultivo o formación de los seres humanos en general sino porque se erigen como la continuación o herencia de la educación elitista de la Antigüedad: “«Las humanidades» (*litterae humaniores*), como señal distintiva de la cultura burguesa, han sido el legado más duradero del Humanismo renacentista.” (Lafaye, 2005, p. 345). Cabe recordar que las artes liberales correspondían exclusivamente al segmento de la población no esclava y libre de trabajo físico, educación de “hombres libres” que gozaban de ocio (“*otium*” latino o “*skholè*” griego): “[...] la palabra «humanismo» es heredera directa de las *humaniores litterae* o los *studia humanitatis* de los romanos, que correspondían a las artes liberales [...]” (Fraile, 1966, p. 22). Dado su origen marcadamente clasista, las humanidades difícilmente pueden considerarse “universales” en su alcance y, por ello, cabe señalar que “humanismo” y “antropocentrismo” no son sinónimos, pues el humanismo parte y aspira a la formación de un tipo particular de seres humanos —esto es, discriminando entre diferentes tipos de seres humanos— mientras que el antropocentrismo implica una visión del mundo que otorga al ser humano, en comparación a otros seres y entes, el papel central de la comprensión del mundo.

La primera respuesta a la pregunta planteada indica que el cambio climático antropogénico no ha tenido una solución política adecuada por la ignorancia de políticos y humanistas, quienes prefieren las vanidades humanas en vez de formarse adecuadamente en el conocimiento objetivo del mundo. Respuesta simplista y tendiente al cientificismo, es decir, al discurso triunfalista, apologético de la ciencia y los científicos, que defiende la idea de una acumulación, de progreso y racionalidad suprema científica —ideal al cual Philip Kitcher ha denominado “la leyenda” (Kitcher, 1993, p. 3)—.

El llamado a una educación integradora de ambas culturas como camino para la solución de los problemas que aquejan a la humanidad sigue siendo pertinente aunque no suficiente. La educación no resuelve todos los problemas, porque no es el caso que exista un contenido cognoscitivo neutral, universal, objetivo y válido para siempre, porque el conocimiento científico cambia con el paso del tiempo y, con ello, los contenidos educativos. Incluso suponiendo que hubiera un saber absoluto, la educación no resuelve la disputa política en torno al acceso a tal conocimiento. Desde que Snow lo señalara, no parece haber avance respecto a la falta de voluntad, e incluso de capacidad, entre los miembros de las dos culturas para establecer una comunicación efectiva ante los problemas existenciales que tienen un margen de tiempo estrecho para solucionarse.

Determinar cuál es el mejor conocimiento disponible para guiar las acciones humanas serviría de muy poco si no se cuenta con la capacidad para utilizarlo. El conocimiento por sí mismo no cambia nada, para ello es imprescindible también la agencia o capacidad de acción humana, así como la consecuente atribución de responsabilidades por ese actuar. Esto es un hecho políticamente relevante en tanto que las causas subyacentes y las soluciones de mitigación del cambio climático antropogénico están atravesadas por decisiones, acciones, omisiones y, por tanto, de responsabilidades políticas.

3.3.2 Respuesta 2: Diferente acceso epistémico al cambio climático

Una pregunta mal planteada difícilmente se puede resolver. Una causa del porqué las políticas climáticas de mitigación están fallando puede ser porque nadie escuchó las llamadas de atención sobre la importancia del clima que habrían hecho desde la Antigüedad los filósofos. Es común iniciar las historias de toda tradición disciplinar occidental con las pocas obras que han sobrevivido de los antiguos griegos y latinos. El clima no es la excepción:

El tema de la aerología o meteorología ha ocupado un lugar importante en la fundación epistemológica de la cultura occidental, como puede atestiguar con el destacado papel que le consagraron Aristóteles, Epicuro, Lucrecio y Descartes, entre otros. Pero fueron, Aristóteles y Descartes quienes vincularon con más firmeza sus estudios epistemológicos a través del análisis de los fenómenos atmosféricos.

(Arellano, 2014, p. 51).

Según esta perspectiva, en algún momento de la historia, el conocimiento protocientífico o científico-filosófico, fue olvidado:

Una cuestión es segura, sin estos pioneros y seminales trabajos sobre el clima expresados en *Meteorológicas* [de Aristóteles] y *Los meteoros* [de Descartes] no habría sido posible crear las mediaciones sociales, simbólicas, técnicas e intersubjetivas que hoy nos permiten interactuar con la atmósfera como lo hacemos; sería de otra manera, con otras categorías, otros instrumentos e instituciones eruditas distintas a los que conocemos hoy.

(Arellano, 2014, p. 88).

Afirmar que las ciencias atmosféricas son desarrollos posteriores de intuiciones filosóficas pretéritas es una instancia de un supuesto recurrente en la historia de la filosofía que debe revisarse críticamente: “la filosofía es la madre de todas las ciencias”. Esta idea tuvo un fuerte impulso en la Modernidad por autores como Francis Bacon quien aseguraba que a lo largo de la historia humana:

[...] la filosofía natural recibió una mínima parte del esfuerzo humano. Y, sin embargo, cabe considerarla como la gran madre de las ciencias, pues todas las artes y las ciencias, arrancadas de esta raíz, podrán quizá embellecerse y adaptarse a usos prácticos, pero no crecen en absoluto.

(Bacon, 2011, p. 113).

La visión de Bacon, además, se basa en la idea de un progreso lineal del saber humano cuyo núcleo duro es la tradición grecolatina y occidental:

[...] un número tan grande de siglos se reduce a muy poco si examinamos el problema correctamente, pues de los veinticinco siglos a lo largo de los cuales se extiende la memoria y el saber humano apenas podemos indicar seis siglos que hayan sido prósperos para las ciencias y útiles para su desarrollo [...] pues únicamente se pueden señalar tres revoluciones o épocas de la ciencia: una con los griegos, la segunda con los romanos y la última con nosotros, es decir, con las naciones de Europa occidental, a cada una de las cuales apenas podemos atribuir dos siglos.

(Bacon, 2011, p. 112).

Según esta interpretación, toda investigación científica actual ha comenzado siempre como curiosidad y asombro filosófico sobre la realidad, lo cual con el tiempo adquirió una agudeza metodológica positiva y sistemática suficiente para independizarse y convertirse en una

disciplina propia.¹² Esta visión de la filosofía como raíz o incluso como núcleo de las ciencias tiene otra vertiente bien señalada por Tuomas K. Pernu: la filosofía, y en particular la filosofía de la ciencia, funge un papel de ama revisora y correctora de los conceptos científicamente abstrusos, es decir, una función de intérprete que clarifica el significado o las implicaciones de la ciencia en otros aspectos de la realidad y la sociedad (Pernu, 2008, p. 30). Esta visión implica una noción de jerarquía disciplinaria que se sustenta en otro supuesto que debe ser criticado.

El segundo supuesto tras la idea de que las ciencias atmosféricas son desarrollo ulterior o subalterno a las inquietudes filosóficas es aquello que Jacques Derrida llamó la cuestión del dominio filosófico: “Amplio hasta creerse interminable, un discurso *que se ha llamado* filosofía [...] siempre ha querido decir el límite, comprendido el suyo.” (Derrida, 2013, p. 17). Esta idea de dominio implica que o bien nada ha estado históricamente o está actualmente fuera de los límites de la reflexión filosófica (en tanto que se ha autoerigido como un saber omnicomprendivo que todo lo ha pensado ya o lo ha puesto en duda ya), o bien, lo diferente, lo distinto, la alteridad, lo externo a la filosofía se ha definido siempre en función de los límites, los éxitos, los fracasos, de la filosofía misma:

Es el dominio infinito que parece asegurarle la instancia del ser (y de lo) propio; ello le permite interiorizar todo límite como *algo que es* como siendo el suyo *propio*. Excederlo al mismo tiempo y así guardarlo en sí. Ahora bien, en su dominio y su discurso sobre el dominio (pues el dominio es una significación que todavía le debemos), el poder filosófico parece siempre combinar *dos tipos*.

Por una parte, una *jerarquía*: las ciencias particulares y las ontologías regionales son subordinadas a la ontología general luego a la ontología fundamental. [...]

Por otra parte, una *envoltura*: el todo está implicado, en el modo especulativo o de la reflexión y de la expresión, en cada parte [...]

(Derrida, 2013, pp. 26-27)

Derrida no niega la importancia de la reflexión filosófica sino que cuestiona la manera en la cual se ha estructurado el dominio disciplinario desde o en relación con la filosofía, domino tanto en el sentido de ámbito o territorio donde operan y se desenvuelven los saberes, así como en el sentido de poder subordinante entre saberes: “[...] ¿se puede tratar *la* filosofía (*la*

¹² “But if you put the same question to a philosopher [what definite body of truths has been ascertained by his science], he will, if he is candid, have to confess that his study has not achieved positive results such as have been achieved by other sciences. It is true that this is partly accounted for by the fact that, as soon as definite knowledge concerning any subject becomes possible, this subject ceases to be called philosophy, and becomes a separate science.” (Russell, 2001, p. 90).

metafísica, incluso *la* onto-teología) sin dejarse ya dictar, con esta pretensión de unidad y unicidad, la totalidad inatacable e imperial de una orden?” (Derrida, 2013, p. 23).

Las limitaciones inherentes a la idea del dominio disciplinar alcanza también a las propuestas de la filosofía de la ciencia que se han acercado a posturas naturalistas pero que no cuestionan la idea de jerarquía o envoltorio disciplinario y caen en paradojas. Por ejemplo, el falibilismo semántico: esta paradoja es el resultado de considerar a la filosofía como un análisis conceptual devenido en análisis del lenguaje, lo cual es sostenido principalmente en corrientes analíticas, y que sostiene que la relación entre referencia y significado se determina de manera extensional y no intensional —teoría causal de la referencia— en tanto que no hay ninguna clase de acceso epistémico privilegiado al significado de los términos. Puesto que el significado de los conceptos se modifica en la medida en que cambia nuestro conocimiento sobre el mundo (he ahí por qué se denomina falibilismo semántico), entonces revisar la adecuada corrección del significado de los términos debería ser tarea de la ciencia y no de la filosofía. Pero si la filosofía es una tarea de revisión y clarificación conceptual, una postura naturalista acrítica conduce a un callejón sin salida: si la adecuada referencia de los conceptos debe ser establecida por los científicos y, si éstos en algún momento requieren de alguna ayuda por parte de la filosofía de la ciencia para la clarificación de los conceptos científicos, entonces la clarificación sería inútil, por no decir imposible, pues la filosofía de la ciencia naturalista acrítica requiere de un “*entrada*” o “*input*” conceptual definido previamente por la ciencia para tener material con el cual trabajar, pero si ese material conceptual es abstruso para los propios determinantes del significado, entonces la filosofía de la ciencia naturalista acrítica requeriría de clarificaciones científicas del material entregado a dilucidar, lo cual genera un círculo vicioso insoluble (Pernu, 2008).

La idea de dominio disciplinar, expresada como una tendencia a jerarquizar saberes —estableciendo subordinaciones o primacías (temporales, espaciales, lógicas, epistémicas, metodológicas) en la manera de explicar el mundo— o a envolver disciplinas por parte de otras —en reducciones o diluciones extremas de unas disciplinas en otras— no sólo es aplicable a la filosofía de corte humanista que cifra en la libertad y espontaneidad humana su piedra fundacional sino que también es aplicable a posturas como el científicismo radical que hace de las ciencias la única voz con autoridad para describir y explicar al mundo.

Siguiendo la idea de dominio disciplinar, respecto al cambio climático antropogénico, si se acepta acríticamente que una manera de conceptualizar, describir y explicar el mundo es absolutamente superior o simplemente más efectiva que otras y que por ese simple hecho invalida de una vez y para siempre a todas las demás formas de pensar (no sólo posturas escépticas, incoherentes, ideológicas radicales, sino incluso otras formas organizadas de pensamiento, cosmovisiones, o códigos de principios éticos y morales), entonces se llega, por lo menos, a un dilema:

- a) Si la filosofía es la madre de todas las ciencias, entonces sus frutos fueron cosechados tardíamente pues, de ser el caso que la “aerología” aristotélica y cartesiana son la raíz de la climatología y meteorología moderna, entonces pasaron siglos antes de que esas preocupaciones filosóficas cristalizaran en investigaciones positivas. Pero la situación sería más grave aún y la filosofía habría fracasado estrepitosamente pues sus disciplinas derivadas se habrían desconectado totalmente de las preocupaciones humanistas y, cual parábola del “hijo pródigo”, habrían vuelto al seno de la filosofía una vez que el problema del cambio climático antropogénico amenaza la existencia inmediata y mediata de las sociedades humanas —e indirectamente, la capacidad societal, económica y material de continuar con las investigaciones científicas—.
- b) Si el dominio disciplinar no es filosófico sino científico y, en específico, científicista, la situación es igual o aún más ominosa. En primer lugar, es censurable que en el imperio científicista las ciencias atmosféricas se desarrollaron muy tardíamente en la historia humana. En segundo lugar, el dominio científicista es impotente porque décadas de advertencias científicas sobre el cambio climático y sus causas antrópicas no han producido efectos notorios. Además, a pesar de generar soluciones viables y científicamente fundadas y orientadas, éstas no son operativas del todo, entonces, el imperio científicista al parecer es detenido por un misterioso factor que es más poderoso aún que la racionalidad tecnocientífica. El mayor problema del científicismo radica en que, al ser llevado al extremo, (1) termina negando otras formas de pensar y actuar en la realidad, las cuales son necesarias, imprescindibles, para solucionar los grandes problemas que amenazan a las sociedades humanas y al ambiente; (2) termina erigiendo a las ciencias como nuevo fundamento metafísico de la realidad:

Y el principal motivo es que, en general, sigue prevaleciendo el supuesto metafísico de que existe una única ontología, una ontología fundamental, a la que correspondería una única descripción verdadera y completa. [...] Las teorías «fundamentales» serían, entonces, aquellas que brindan la mejor descripción de la realidad tal como sería en sí misma, mientras que las teorías «fenomenológicas» o las disciplinas «secundarias» sólo describirían los hechos y objetos tal como se nos aparecen. Este supuesto se encuentra en la base del afán de erigir a la física en metafísica, afán que puede detectarse en algunos físicos y en la gran mayoría de los filósofos que defienden el realismo científico.

(Lombardi y Pérez, 2012, p. 107).

Derrida cuestiona la pretensión totalitaria del dominio filosófico desde conceptos que desafían la lógica binaria adentro/afuera, pregunta/respuesta, conceptos ubicados desde los márgenes de la filosofía, de aquello que de una u otra forma pone en cuestión la idea de los límites disciplinares:

Sería necesario a la vez, por análisis conceptuales rigurosos, filosóficamente inflexibles, y por la inscripción de marcas que ya no pertenecen al espacio filosófico, ni siquiera a la vecindad de su otro, desplazar el encuadre, por la filosofía, de sus propios tipos. Escribir de otra manera. Delimitar la forma de un cierre que no tenga ya analogía con lo que puede representarse la filosofía bajo este nombre, según la línea, recta o circular, que rodea un espacio homogéneo.

(Derrida, 2013, p. 31).

En una analogía al cuestionamiento del dominio del pensamiento filosófico a través de conceptos en los márgenes del dominio disciplinar, puede decirse que el cambio climático es un hecho, un tema, un problema, un concepto que cuestiona profundamente el mito de la competencia omnisciente de la filosofía así como al pensamiento político tradicional y de las escalas de valores culturales y económicos imperantes en muchas sociedades contemporáneas. Mientras Derrida recurre a técnicas lingüísticas para cuestionar el dominio filosófico, las ciencias y sus historias otorgan un fundamento sólido a la comprensión de algo que ha estado históricamente fuera de los límites del pensamiento político tradicional, en sus márgenes, y que lo ha trastocado profundamente: el clima y sus cambios.

Mientras la segunda respuesta aboga por un dominio disciplinar, una revisión a los supuestos que la sostienen muestra que no es verdad que la filosofía haya pensado ya, desde siempre, todo tópico posible de investigación. Las ciencias han permitido comprender y dilucidar fenómenos abstrusos y/o emergentes en tanto que poseen una capacidad de acceso epistémico difícilmente comparable con otras disciplinas. La historia muestra que la única manera en que la humanidad pudo comprender el cambio climático fue gracias a las

investigaciones, teorías, observaciones, prácticas, publicaciones científicas y no ciertamente por las preocupaciones filosóficas, políticas ni humanísticas tradicionales.

Empero, tampoco es el caso que la competencia epistémica de las ciencias haya existido desde siempre. El competente acceso epistémico de las ciencias al mundo es resultado de un proceso histórico de aumento gradual de complejidad de las relaciones sociopolíticas, materiales y económicas. Mucho del desarrollo científico y tecnológico es resultado del apoyo político de los Estados que han cifrado en las tecnociencias un factor clave para incrementar su poder y estabilidad. De la segunda respuesta puede concluirse, por tanto, que la filosofía no es omnisciente pero que las ciencias requieren de condiciones sociopolíticas favorables para desarrollarse para, de este modo, poder retroalimentar las decisiones políticas ante problemas que amenazan la existencia de las colectividades humanas.

3.3.3 Respuesta 3: Diferencia de compromisos ontológicos

Si existe por lo menos un elemento teórico que cause el fracaso de las políticas internacionales de mitigación del cambio climático antropogénico —que no sea la llana ignorancia o la consciencia reciente de problemas que han emergido hace poco— sin duda alguna puede hallarse también en la manera diferenciada en la que se conceptúa la realidad según diversas disciplinas, sociedades y culturas, esto es, según los diferentes compromisos ontológicos que asumen los colectivos o individuos humanos respecto al mundo. Los compromisos ontológicos existen en toda concepción o teoría de lo real, desde el sentido común, a las visiones supersticiosas, las ideologías políticas, las doctrinas militares, las ciencias, etc., y no se limitan sólo a los sostenidos por las culturas académicas de la tradición occidental.

La palabra “ontología” apareció en la filosofía europea hacia el siglo XVII entendida como la rama del pensamiento encargada de las cuestiones metafísicas superiores (Smith, 2007, p. 47), y, desde entonces, se le ha considerado como el área encargada de aquella tarea, que en la tradición occidental se remonta acaso a Parménides o por lo menos a Aristóteles, que consiste en el estudio del ser en cuanto que ser. A lo largo de la historia de la filosofía la cuestión ha tenido diferentes abordajes, aunque la mayoría se ha centrado en las diversas maneras de expresión lingüística en torno al ser, por ello, Pierre Aubenque la define como “[...] una teoría diferenciada de la referencia [...]” (Aubenque, 2007, p. 20). Empero, el abordaje lingüístico o centrado en conceptos en torno al ser no agota las “vías de la ontología”,

como las llama Guillermo Hurtado, pues destacan también las propuestas de ontologías regionales:

La idea de fondo [tras la ontología regional] es que del mundo tal como es en sí no se puede hablar, sólo del mundo tal como lo organizamos desde un marco conceptual específico. De esto se infiere que toda ontología ha de ser la ontología de una teoría, y como no puede haber una teoría sobre el todo [...], se concluye que toda ontología ha de ser regional.

(Hurtado, 2007, p. 43).

La ontología entendida como la dilucidación del ser expresado en y desde una teoría de lo real en particular puede desembocar en la reducción de la pluralidad de seres a entidades básicas (*v.gr.* las mónadas leibnizianas) o bien “adecuarse” a la pluralidad de entes que pueblan el mundo:

Los [ontólogos] adecuataistas buscan una taxonomía de las entidades que existen en la realidad, en todos los niveles de agregación, desde lo microfísico hasta lo cosmológico, incluyendo asimismo el mundo intermedio de entidades de la escala humana que existe entre aquellos (el *mesocosmos*). [...] Para el adecuataista, la ontología es, entonces, una labor descriptiva. Es por ello que la ontología se distingue de las ciencias especiales no sólo en su radical generalidad, sino también en su finalidad o enfoque: no busca la predicación ni la explicación, sino más bien la taxonomía y la descripción.

(Smith, 2007, p. 48).

Puesto que el conocimiento no es su objeto de teorización, la ontología no es epistemología ni pretende ser una ciencia empírica que catalogue el mundo con pretensiones de verdad, aunque, es menester reconocerlo, la metafísica tradicional sí ha pretendido establecer criterios de correspondencia entre teoría y mundo; en cambio, las ontologías “internistas” buscan la manera en que en las teorías *ad intra* se estructura lo real.

Hacia mediados del siglo XX surgió una manera particular y sumamente influyente de entender la ontología a partir de la obra de Willard van Orman Quine, para quien las teorías (y sus lenguajes en particular) establecen compromisos respecto a las entidades que se afirma existen: “COMPROMISO ONTOLÓGICO: el compromiso ontológico de una teoría (o de un individuo o una cultura) consiste en los objetos o tipos de objetos que tal teoría (individuo o cultura) asume como existentes.” (Smith, 2007, p. 66).

Puesto que las ciencias se han convertido en las fuentes más fiables de información respecto al mundo, entonces, según Quine la labor ontológica consistiría en determinar las asunciones de existencia, estructura y relación de los entes en las teorías científicas:

Su finalidad [de Quine] es emplear la ciencia para propósitos ontológicos, lo cual significa: encontrar la ontología *en* las teorías científicas. [...] Nótese que, para el propio Quine, la ontología no es el metaestudio de los compromisos o presuposiciones ontológicas expresadas en las distintas teorías de las ciencias naturales; la ontología es, más bien, esos mismos compromisos.

(Smith, 2007, p. 50).

Para Quine la manera más efectiva de analizar los compromisos ontológicos expresados en los lenguajes teóricos es a través de la lógica de primer orden pues en ella, afirmaba el filósofo estadounidense, han desaparecido las ambigüedades. Por ello “Su llamado «criterio de compromiso ontológico» es capturado en el eslogan: *Ser es ser el valor de una variable ligada.*” (Smith, 2007, p. 51). Lo cual no significa que la realidad se reduzca a la lógica, sino que los compromisos ontológicos se revelan como variables en el análisis lógico.

Actualmente la ontología ha rebasado los límites de la filosofía: “Recientemente, en un desarrollo que difícilmente han notado los filósofos, ciertas disciplinas extrafilosóficas han [...] intentado extraer los compromisos ontológicos («ontologías», en plural) de diferentes culturas y grupos.” (Smith, 2007, pp. 52-53). Esta extensión de la ontología hacia el estudio de las taxonomías de lo real según distintos grupos humanos, ya sean ciencias u otras culturas o disciplinas o lenguajes computacionales, permite dilucidar el peso que diferentes entes, procesos y relaciones tienen en cierta manera de concebir lo real.

La perspectiva ontológica, en particular la regional y adecuata, hace posible dilucidar las entidades, jerarquías, procesos, estructuras y relaciones que se consideran existentes desde diferentes teorías —científicas o no— de la realidad, arrojando luz en controversias que no implican ignorancia —deliberada o no— sobre temas, tópicos o entidades.

Puesto que el análisis ontológico no se realiza necesariamente en relación con la verdad/falsedad del conocimiento —como sí lo hace la epistemología— o con cuestiones de valoración altamente dependientes de factores subjetivos y/o fenomenológicos —como la axiología—, permite comprender las diferentes maneras no sólo de conceptualizar el mundo sino también la (no)importancia o (no)prelación de ciertas entidades o procesos según diferentes teorías de lo real que afirman la existencia de aquellos pero los ubican en diferentes sitios dentro del mapa del mundo, sin que ello signifique necesariamente comprometerse con la verdad o falsedad, importancia o irrelevancia axiológica de ciertas entidades.

Lo anterior no significa que la ontología se coloque en la perspectiva del “ojo de Dios” capaz de observar la totalidad desde un nivel superior neutral, así como tampoco significa necesariamente un pluralismo, pero, difícilmente se puede negar su utilidad para comprender y “diagnosticar” diferencias teóricas o especulativas que no necesariamente basculan en torno a criterios netamente epistemológicos y axiológicos.

Hay, sin embargo, por lo menos un par de críticas pertinentes a las soluciones ontológicas. La primera crítica es a las limitaciones de la ontología de Quine (y similares). Como señala acertadamente Barry Smith:

[...] tal proyecto necesita con urgencia ser complementado. La razón es que los objetos de las teorías científicas son específicos de cada disciplina. Esto significa que las *relaciones* entre objetos que pertenecen a diferentes dominios disciplinares quedan fuera de la ontología quineana. Solamente algo como una teoría *filosófica* de cómo las diferentes teorías científicas (o sus objetos) se relacionan entre sí puede cumplir la labor de proveer un inventario de todos los tipos de entidades en la realidad.

(Smith, 2007, p. 51).

Asumir que las únicas teorías que tienen validez son las científicas implica ya una elección que puede llevarnos a ignorar o incluso demeritar otras formas de conceptualizar la realidad que también son importantes a la hora de resolver problemas que no necesariamente tienen una solución técnica:

[...] pueden existir razones para mirar más allá de la ciencia natural, sobre todo cuando nos ocupamos de objetos (como las sociedades, las instituciones y los artefactos concretos y abstractos) que existen en niveles de granularidad distintos de aquellos que se prestan fácilmente a la investigación de la ciencia natural.

(Smith, 2007, p. 64).

Subsanar esas lagunas es importante en tanto que en la vida cotidiana una gran cantidad de seres humanos nos guiamos no sólo por las teorías científicas sino también por creencias del sentido común y por teorías del mundo creadas, compartidas y transmitidas por diversas culturas, académicas o no.

Una segunda crítica es que, si se permite todo tipo de creencia como una ontología válida o correcta, se corre el riesgo de caer en puntos de vista triviales o bien en ontologías inútiles o hasta peligrosas. Por ejemplo, asumir o partir de la idea de que todo debe tener una jerarquía donde haya entidades primeras (o superiores) y secundarias (o inferiores) opera tanto en una ontología de una física reduccionista pero también en una ontología sociopolítica del racismo

y el clasismo, ambas ontologías parten de supuestos análogos que, quizá lógica o epistemológicamente parecen inocuos (o hasta benéficos por economía en las teorías) pero producen formas enteramente distintas de ver el mundo y, no menos importante, distintas maneras de vivir en él.

En términos generales, la tercera respuesta es una opción viable aunque limitada para indagar las causas teóricas del fallo de las soluciones políticas de mitigación del cambio climático antropogénico. La diferencia de compromisos ontológicos muestra que no es irracional sostener las siguientes afirmaciones: (1) cada ámbito disciplinar aporta conocimientos, interpretaciones y valoraciones importantes y *diferenciadas* para la comprensión de lo real y la acción humana en el mundo; (2) el conocimiento, las experiencias y las vivencias humanas son de hecho irreductibles dada su cantidad, su diversidad y su diferencia (aunque, análisis y debate a parte, no todas deberían ser igualmente toleradas en particular si sus resultados implican daños injustificables para otras personas y el ambiente).

La pertinencia y razonabilidad de una perspectiva ontológica radica en que posibilita el entendimiento entre perspectivas, individuos, teorías o culturas. Esto es útil cuando se intentan elaborar o acordar interpretaciones y explicaciones coherentes, consistentes y comunes respecto a lo que se consideran verdades relevantes sobre el cambio climático natural y antropogénico, sin que ello conduzca a un reduccionismo radical ni propuestas de dominio ni de jerarquía-subordinación epistémica ni “guerras” disciplinarias.

3.4 Posibilidad de una filosofía política de la ciencia

¿Es posible que haya un factor enteramente teórico involucrado en el fallo de las políticas internacionales de mitigación del cambio climático antropogénico? Sí. Se han ensayado y revisado críticamente tres respuestas posibles: (1) la ignorancia respecto a cuestiones científicas por parte de la cultura humanística y política; (2) la atención tardía por parte de la ciencia y la política a las investigaciones filosóficas sobre el clima; (3) diferencia de compromisos ontológicos respecto al entendimiento de lo real.

La primera respuesta es insuficiente porque tiende a un cientificismo acrítico (e incluso a una visión tecnocrática) que ignora que la libertad y/o simple capacidad de acción es relevante para concretar cualquier tipo de respuesta epistémicamente fundamentada. La capacidad de acción es también una condición de posibilidad de atribución e imputación de

responsabilidad, algo que sigue siendo en términos prácticos y cotidianos un ámbito exclusivamente humano. Esto último es políticamente relevante en tanto que el cambio climático antropogénico es también un problema político ya que: (1) sus causas son ciertas formas de producción y reproducción social regidas por criterios económico-políticos; (2) porque sus efectos representan una clara amenaza existencial para las sociedades humanas políticamente organizadas o desorganizadas; y (3) porque su solución implica la necesidad de acciones colectivas coordinadas regidas normativamente por reglas, entre otras, del derecho nacional e internacional acordadas entre todas las partes interesadas.

La segunda respuesta gira en torno al mito de la omnisciencia filosófica. Tal visión es errónea y tiende a diluir dos hechos históricos importantes: (1) el conocimiento de ciertos fenómenos sumamente complejos y/o emergentes sólo ha sido posible gracias al desarrollo — muchas veces hasta fechas recientes— de ciencias y tecnologías sin las cuales no habría sido posible tener acceso epistémico a ciertos niveles de complejidad y materialidad del mundo; (2) el apoyo económico y materia a ciencias y tecnologías, al menos desde el siglo XX a la fecha, se debe en buena medida a intereses políticos de los Estados contemporáneos en busca de poder y hegemonía. Es decir, la imagen científica del mundo actual es relativamente reciente e implica procesos sociales polémicos. Si bien hay una fuerte carga política en el desarrollo de las tecnociencias actuales, la competencia epistémica para acceder al mundo no puede ser sancionada ni dictada ni limitada *a priori* ni por la filosofía ni por la política.

La tercera respuesta afirma que además de diferente entendimiento del mundo, las distintas teorías también implican compromisos —intelectuales y de acción, teóricos y prácticos— a partir del papel que se estima juega el conocimiento (del mundo) en la comprensión de lo real. Si bien esto es útil para diagnosticar las causas del fallo de las políticas climáticas, es insuficiente para proponer alguna solución.

Ninguna de las tres respuestas anteriores es individualmente suficiente para responder a la interrogante planteada. Por ello es oportuno desarrollar un marco filosófico desde el que sea posible la revisión, cuestionamiento y/o problematización de las dimensiones políticas y científicas relacionadas con (1) algunos hechos del mundo que implican agencia humana y/o actividades científicas (*v.gr.* problemas ambientales); (2) los medios de acceso epistémico a ciertos niveles de complejidad y materialidad del mundo (*i.e.* las tecnociencias mismas); (3) las acciones y decisiones propiamente políticas basadas o influidas por juicios científicos.

Dicho enfoque filosófico, desarrollado en el siguiente capítulo, no puede reducirse a una sola teoría sino que debe ser un marco de interpretación amplio y/o flexible, entendiendo por marco teórico amplio no una teoría particular capaz de explicar la totalidad de lo real o de un fenómeno sino un campo donde diversas interpretaciones disímiles, divergentes y hasta opuestas puedan generarse: filosofía política de la ciencia.¹³

De manera general, puede decirse que la filosofía política de la ciencia, como marco teórico amplio y disciplinar, tendría como objetivo principal analizar las diversas implicaciones de los conocimientos y desarrollos tecnocientíficos en las formas de organización política de las sociedades humanas así como las relaciones de poder que favorecen o impiden el desarrollo de las ciencias, las tecnologías y las formas de organización y participación ciudadana. Y es desde este marco teórico que ensayaremos una respuesta a la interrogante sobre la existencia de factores teóricos que sesgan o impiden la implementación de políticas adecuadas de mitigación del cambio climático antropogénico así como una posible alternativa para superar dichas limitaciones.

¹³ La noción de la filosofía política de la ciencia como un marco antes que como una teoría particular o singular la debo a la doctora Siobhan Guerrero Mc Manus, así como a Joseph Rouse (1987).

Capítulo 4

Aportes para una filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico

Resumen: Este capítulo ofrece, tras una breve caracterización de los estudios CTS, una definición por precisión, estipulativa y nominal de “filosofía política de la ciencia”. A partir de ésta se elabora una definición de “filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico”, es decir, un marco filosófico desde el cual se propone una asunción cruzada de los compromisos ontológicos del pensamiento político tradicionalmente antropocéntrico y de las ciencias con descripciones laicas del mundo. Esto da como resultado: (1) una política cercana al naturalismo que asume por principio que el mejor conocimiento disponible sobre el cambio climático antropogénico es el generado por las distintas ciencias que lo estudian y que las políticas de mitigación deberían partir del reconocimiento de las condiciones climáticas estables como condiciones materiales de posibilidad de las sociedades humanas; (2) un nuevo contrato social de la ciencia que reconoce que las respuestas científicas sólo pueden movilizarse a través de acciones polémicas y conflictivas en tanto que afectan los intereses antropocéntricos de los actores políticos y que, por ello, es necesaria una defensa políticamente activa del sistema tecnocientífico público como un medio capaz de generar en la sociedad capacidades de acción, adaptación y resiliencia climática epistémicamente fundadas.

Palabras clave: *Estudios CTS, filosofía política de la ciencia, filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico, naturalismo filosófico, nuevo contrato social de la ciencia*

Desde hace por lo menos tres décadas existen intentos teóricos para pensar las relaciones entre las ciencias y lo político como un tópico o campo de reflexión filosófico autónomo o lo suficientemente delimitado para recibir un nombre propio: filosofía política de la ciencia. En tanto que aún hay pocas propuestas filosóficas al respecto, el objetivo principal de este capítulo es proponer una definición de este incipiente campo de reflexión filosófica en general, y las

reflexiones filosóficas desde ese marco filosófico disciplinar en torno al cambio climático antropogénico en particular.

4.1 ¿Por qué insistir en la filosofía si ya tenemos estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS)?

En la visión académica de la ciencia hegemónica en Occidente —la angloamericana—, desde la década de 1960 las consideraciones históricas y sociológicas que dieron origen a intentos serios por explicar científicamente los cambios dentro de las ciencias cambiaron la imagen intelectual de las mismas. La reflexión filosófica fue relegada lentamente a un segundo plano por considerarla meramente especulativa o carente de capacidades explicativas científicas satisfactorias (*cf.*, Shapin, 1992). A pesar de la proliferación de autores y escuelas, las explicaciones historicistas fueron calificadas como irracionalistas mientras que las explicaciones sociológicas se redujeron a explicaciones causales del conocimiento dejando de lado otras formas de explicación y ámbitos como lo político, lo tecnológico y lo institucional, obedeciendo así a las dinámicas geopolíticas e ideológicas de la segunda mitad del siglo XX.

Ante la necesidad y urgencia de reincorporar los factores políticos, económicos y tecnológicos a la reflexión sobre las relaciones entre ciencias y sociedad, surgieron los estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) que abordan la interdependencia de cuestiones históricas, filosóficas, sociológicas, económicas, legales y epistémicas en relación con la ciencia y la tecnología (Edge, 1995, p. 5). A lo largo de su desarrollo, surgieron dos escuelas llamadas —por Steve Fuller— la “alta iglesia” (*STS: Science and Technology Studies*, centrados en los antecedentes o condicionantes sociales de la ciencia y tecnología, de raigambre más académica) y la “baja iglesia” (*STS: Science, Technology and Society*, estudios centrados en las consecuencias ambientales y sociales de la ciencia y la tecnología, trabajos de un carácter activista muchas veces impulsados por científicos y tecnólogos), (López Cerezo, 1998, p. 45). A pesar de poner acentos distintos según sea la escuela, los estudios CTS comparten una postura crítica ante las ideas de (1) la supuesta neutralidad epistémica y ético-política de la ciencia; (2) de la tecnología concebida como simple aplicación neutral, lineal y benéfica de la ciencia; y (3) de la primacía de la opinión de los expertos en las sociedades democráticas (López Cerezo, 1998, p. 46). Los estudios CTS permiten una reflexión inter, multi y transdisciplinaria tanto de las políticas dirigidas por expertos (tecnocracia) y la participación

democrática y ciudadana en la toma de decisiones, así como las políticas científicas estatales —este último tema ha sido particularmente recurrente en los estudios realizados desde América Latina (Vaccarezza, 1998, p. 20; Kreimer *et al.*, 2014, pp. 13 y ss.)—.

De acuerdo con Sergio Sismondo las metáforas eclesiásticas no son oportunas pues hacen perder de vista que la indagación teórica sobre la naturaleza social de la ciencia muchas veces conduce a la búsqueda política de una ciencia socialmente responsable pues, actualmente, los estudios CTS han llegado a un “programa comprometido” (*engaged program*) en el cual hay igual primacía tanto de los intereses teóricos sobre la estructura y funcionamiento de la ciencia y la tecnología así como de los intereses públicos sobre lo político (Sismondo, 2008, p. 21).

Para Jaime Fisher los estudios CTS tienen al menos “[...] tres dimensiones: *a*) como perspectiva teórico-epistemológica, *b*) como movimiento sociopolítico práctico, y *c*) como proyecto y acción educativa.” (Fisher, 2010, p. 316). Es decir, teórica-epistémicamente abordan el tema de la transdisciplinariedad; en tanto que movimiento sociopolítico, permiten y promueven en diferentes arenas la participación ciudadana en las políticas y tomas de decisión tecnocientíficas; mientras que en cuanto proyecto y acción educativa, buscan la transmisión de saberes que permitan la reproducción social y política de la sociedad. Para Fisher, los estudios CTS se centran en estudiar los casos concretos de efectos sociales y políticos de la ciencia y la tecnología señalando, generalmente, las desigualdades y las injusticias y, por ello, deben estar vinculados con la reflexión filosófica de la justicia (Fisher, 2010, pp. 256-257).

Si ya existe un área multidisciplinar que analiza las implicaciones teóricas y prácticas de la ciencia y la tecnología en la sociedad y si los estudios CTS cubren algunas lagunas de la filosofía de la ciencia tradicional, ¿por qué insistir en un campo filosófico propio sobre el tema?

Existen varias razones por las cuales abogar por un proyecto filosófico de indagación, aquí sólo enumeramos seis. En primer lugar, si bien es cierto que la filosofía de la ciencia “clásica”, además de su carácter normativo, se caracteriza por su tendencia a evaluar la ciencia en términos meramente epistemológicos, rechazar toda reflexión filosófica por los excesos y defectos de la filosofía de la ciencia “tradicional” es confundir la parte con el todo, pues los errores de un área, escuela o tradición, no invalidan de una vez y para siempre la competencia disciplinar de la filosofía para pensar las ciencias desde diferentes enfoques.

En segundo lugar, si bien una de las muchas raíces de los estudios CTS fue “[...] una corriente de la historia próxima a la filosofía de la ciencia [...]” (Kreimer *et al.*, 2014, p. 10), cabe preguntar si las preocupaciones filosóficas son consideradas meramente como secundarias, accesorias o suplementarias dentro del campo de estudios CTS, pues tener inquietudes con un “parecido de familia” filosófico no significa necesariamente reconocer la valía teórica o la suficiencia epistémica de la filosofía.

En tercer lugar, a pesar de que el campo CTS es multidisciplinar, existe un predominio del constructivismo social, tanto como núcleo teórico duro o bien como una metáfora que aglutina las perspectivas de muchos de los estudios que suelen ser predominantemente de casos o temas polémicos concretos. El constructivismo es visto además como la diferencia específica del campo CTS en relación con otras áreas.¹ Sin embargo, a pesar de las tendencias intelectuales del último medio siglo, la filosofía difícilmente podría reducirse a un epifenómeno del constructivismo social o a una mera reflexión de estudios de caso.

En cuarto lugar, así como puede preguntarse legítimamente si la filosofía cuenta como algún tipo de estudio CTS, puede hacerse la pregunta simétrica: ¿son los estudios CTS algún tipo de filosofía? Esta pregunta casi trivial muestra algo que cierto purismo teórico —tristemente muy común en las discusiones en torno a la ciencia— pasa por alto: no hay razón alguna por la cual una disciplina anule *a priori* la valía de otra por ser más omniabarcante, pues diferentes enfoques y metodologías distintas aportan propuestas y perspectivas diferentes que pueden o no coincidir, sin que esto último sea resultado de un error, mala fe o falta de comprensión sino un simple resultado de que preguntas distintas conducen a investigaciones y respuestas diferentes, a pesar de que se trate de un mismo tema: relaciones entre las ciencias, la política y la sociedad. Mientras los estudios CTS son predominantemente descriptivos y explicativos, la filosofía tiene un carácter más bien normativo en tanto que expresa fuertes compromisos teóricos de y ante el mundo, es decir, compromisos ontológicos amplios capaces de abarcar la totalidad de lo real, funcionando como un marco desde el cual es posible pensar problemas o cuestiones concretas. Mientras algunas ciencias sociales aún aspiran a dar explicaciones causales o deterministas de algún tipo, la filosofía por lo general pretende dar razones respecto

¹ “Yet the metaphor [*i.e.*, the social constructivism] has enough substance to help distinguish STS from more general history of science and technology, from the rationalist project of philosophy of science, from the phenomenological tradition of philosophy of technology, and from the constraints of institutional sociology of science.” (Sismondo, 2008, p. 17).

a marcos de interpretación y evaluación de los hechos del mundo y de las acciones humanas, sin que las razones operen como causas, además, la filosofía no pretende ser la última palabra respecto al mundo. En este punto, la cuestión no es ni de jerarquía epistémica ni de reduccionismo, sino de reconocimiento de diferencias específicas de enfoques, de reconocimiento de alcances, pero también, y quizá más importante, de limitaciones de cada campo disciplinar, cuestiones respecto a las cuales es pertinente la siguiente observación que, si bien se refiere al tema homogeneidad/diversidad cultural, puede extenderse también a las culturas disciplinares: “[La diversidad/homogeneidad cultural] No sería entonces un *fin en sí mismo* al que hubiera que «defender» o «promover» [...] la valoración que se dé a la diversidad o la homogeneidad depende de las condiciones y los resultados que concretamente tengan [...]” (Fischer, 2010, p. 333, n. 93). En este caso, según sean los objetivos de las investigaciones, será pertinente o útil ora la perspectiva filosófica ora la multi o transdisciplinar de los estudios CTS ora ambas, en tanto que no es una cuestión de calidad intelectual o competencia puramente científica sino de utilidad teórica y práctica lo que justifica recurrir a uno u otro enfoque.

En quinto lugar, si bien los estudios CTS han arrojado luz sobre los procesos de las políticas públicas regidas y/o diseñadas por expertos así como sobre la importancia de la participación ciudadana en las sociedades democráticas, considerar que el ámbito político se reduce a democracias representativas y asumirlas como fundamento teórico de evaluación válido para todo horizonte de las relaciones ciencia-sociedad-política es cometer la así llamada “falacia naturalista”, *i.e.*, es considerar como un deber general una condición de hecho particular. Respecto a este punto, la filosofía y, en particular la filosofía política, pueden contribuir a enriquecer desde un enfoque normativo los debates en torno a lo que se considera una sociedad justa, cuál es la mejor forma de gobierno, qué es una participación política adecuada, cuáles son los deberes y obligaciones de los expertos, etc.

En sexto y último lugar, dentro de la propia disciplina filosófica es necesario ir más allá de la “visión heredada” de la filosofía de la ciencia, la cual tiende a acentuar los aspectos puramente epistemológicos de las ciencias y tecnologías. Los aspectos sociopolíticos, económicos y materiales, así como las relaciones polémicas entre lo político y lo epistémico, también son vías de acceso *filosófica y disciplinariamente* válidas hacia las tecnociencias. Mientras los estudios CTS ponen las tecnociencias y su contexto empírico “en el centro” y a

su alrededor aspectos concretos afines (causas, efectos y relaciones), un ensayo filosófico con una peculiar carga en la filosofía política —como el que se intenta aquí— coloca como centro tanto lo político como lo tecnocientífico en sus aspectos abstractos, normativos, teóricos, quedando como tarea pendiente determinar los aspectos que puedan considerarse secundarios respecto al solapamiento de temas. No es que desde la perspectiva filosófica se denigre a los CTS ni a ninguna otra disciplina, simplemente la filosofía ofrece una perspectiva diferente y también válida para pensar las relaciones entre ciencia y política, el cual no es un tópico exclusivo de ninguna disciplina ni heredado exclusivamente de las escuelas sociológicas o etnográficas de la ciencia del siglo XX.

Esta investigación —y este capítulo en particular— es un ensayo serio no sólo de explorar el posible desarrollo de una rama disciplinar en particular (a saber, la filosofía política de la ciencia) sino también de explorar la posibilidad y factibilidad de *estudios filosóficos* de la ciencia y la tecnología (no estudios sociológicos ni etnográficos ni científico-sociales), es decir, análisis, problematización y diálogo teóricos y críticos de segundo grado,² para mostrar que el entendimiento de las condiciones previas y de los efectos políticos derivados de las tecnociencias no requiere necesariamente pasar primero por una “vía epistemológica” — como la “concepción heredada” de la filosofía de la ciencia clásica— y que no son temas esotéricos exclusivos para quienes se aventuren a las aguas de la inter, multi y/o transdisciplinariedad de las ciencias sociales y naturales.

4.2 Algunas definiciones de filosofía política de la ciencia

Las reflexiones filosóficas sobre las relaciones entre ciencia y organización política no son nuevas pues, de acuerdo con varios autores, podemos encontrarlas desde los textos clásicos de la Antigüedad (López y Velasco, 2013, p. 7); por ejemplo, Fernando Broncano afirma que en el mito sobre Prometeo y Epimeteo en el diálogo *Protágoras* de Platón está ya planteada la tensión entre organización política (*pólis*) y el conocimiento experto, entre autoridad política y pericia epistémica (Broncano, 2013, p. 37). Por su parte, Stephen Turner afirma:

² “Puede concebirse la filosofía en general como una actividad reflexiva de segundo nivel respecto de actividades reflexivas de primer nivel, es decir, de ciertos modos conceptualmente articulados con que los seres humanos se enfrentan a la realidad. La filosofía tiene entonces como objeto de estudio esas reflexiones previas; trata de analizarlas, interpretarlas, fundamentarlas, criticarlas, e incluso a veces mejorarlas.” (Moulines, 2013, p. 11).

La reflexión sobre asuntos de conocimiento y poder, ciencia y sociedad, y la naturaleza de la ciencia como actividad socialmente organizada e institucionalizada, puede encontrarse ya desde *La República* de Platón, alcanzando momentos álgidos en la visión baconiana de una clase de científicos a quienes se les ha otorgado el poder de dominio, en los intentos de la Royal Society en Londres, para constituirse una identidad propia como un tipo de asociación política, en la emergencia de la ciencia como categoría social vinculada al Estado durante la Ilustración, particularmente con Turgot y Condorcet, quienes identificaban el avance de la ciencia con el avance de la sociedad, el avance científico como el motor del progreso.

(Turner, 2013, p. 83).

En su recorrido histórico por la filosofía política de la ciencia Stephen Turner señala que desde el siglo XIX han existido diferentes enfoques sobre la relación entre el orden político y las ciencias: (1) el positivista (tanto el comteano como el lógico), con una visión de “extensión” de las ciencias sobre lo social para lograr un conocimiento total sobre el mundo y hacer innecesario el poder político; (2) la separación y autonomía de lo político respecto a las ciencias, sostenida por Max Weber; (3) el control y planificación social de la ciencia, sostenido por una tradición “comunista” (tanto la soviética como la propuesta por John Desmond Bernal); (4) la autonomía de la comunidad científica en las sociedades democráticas, sostenida por Michael Polanyi, (Turner, 2013).

Fernando Broncano agregará la perspectiva centrada en las diferencias culturales como ideal de gobernanza de las ciencias. Empero, a su juicio, ni la visión de planificación social de la ciencia (cuya debilidad es que puede derivar fácilmente en una visión autoritaria) ni la visión de la “república de la ciencia” (cuyo mayor defecto es ser elitista) ni la visión de las “contraculturas” (cuyo punto débil es que propicia sofismas) pueden abordar adecuadamente los desafíos de las sociedades contemporáneas: “Cometen el pecado de tener una visión demasiado estereotipada del complejo sistema de investigación y desarrollo, pero su mayor pecado es la ingenuidad de su filosofía política.” (Broncano, 2013, p. 70).

Si bien la filosofía política de la ciencia entendida como una rama autónoma de la filosofía es una perspectiva incipiente que, a decir de Alfredo Marcos, parece más un proyecto que una realidad, es hasta cierto punto un resultado esperable de la historia de la filosofía:

[...] la filosofía política de la ciencia: no se trata de una nueva súper-especialización de la filosofía, sino precisamente de lo contrario, de un intento de crear un nuevo foco interpretativo en zonas de solapamiento y diálogo entre disciplinas filosóficas añejas que no pueden permanecer separadas por más tiempo. La razón es que los problemas tradicionales del pensamiento político (la justicia, la libertad, la legitimidad, la democracia...) se presentan hoy en conexión inevitable con la tecnociencia. Y, por su

lado, la tecnociencia se entiende cada vez más como acción humana, lo cual ha forzado una ampliación de la filosofía de la ciencia hacia cuestiones prácticas.

(Marcos, 2017, p. 178).

Para Alfredo Marcos, la filosofía política de la ciencia tiene como eje primordial el concepto de racionalidad, pues ésta opera tanto en el ámbito político como en el ámbito tecnocientífico pero ha conducido a un dilema: existe el riesgo o bien de someter el saber tecnocientífico a la irracionalidad del poder político o bien el riesgo de someterse irracionalmente y sin cuestionamiento al poder de la tecnociencia. Debido al doble riesgo de irracionalidad, por eso resalta más “[...] la importancia de una filosofía política de la ciencia que ayude a construir un territorio de racionalidad humana común, donde la tecnociencia y la democracia puedan convivir.” (Marcos, 2017, p. 178).

Para Ambrosio Velasco las complejas y problemáticas relaciones entre ciencias y sociedad son la “materia prima” que alimenta a las

[...] discusiones predominantemente epistemológicas acerca de cuestiones teórico metodológicas que conducen a planteamientos de problemas eminentemente éticos y, sobre todo, políticos. Y esta trama de lo epistémico a lo político no es casual, sino resultado de una perspectiva que podemos denominar «filosofía política de las ciencias y las humanidades». El principal supuesto de esta perspectiva es que las cuestiones relativas a la validez del conocimiento tienen siempre presupuestos y consecuencias políticas que no podemos soslayar.

(Velasco, 2014, p. 18).

De acuerdo con esta perspectiva, es importante también considerar no sólo las condiciones sociopolíticas previas del conocimiento científico sino también considerar las consecuencias políticas que se derivan de su desarrollo dentro de sociedades multiculturales.

Una tercera propuesta es la de Jaime Fisher quien, desde una postura pragmatista, considera que la condición humana es intrínsecamente técnica en el sentido de praxis, esto es “[...] ese accionar transaccional e intencional distintivo de lo humano, definida siempre por un conjunto de elecciones medioambientales situadas que tienen que ver con *qué, cómo y para qué* ejecutar o no ejecutar determinadas intervenciones en el mundo.” (Fisher, 2010, p. 325). Los seres humanos elaboran diversos sistemas técnicos, así, el Estado es un sistema técnico cuya función es garantizar la procuración de libertad y justicia, mientras que los sistemas tecnológicos y científicos buscan, respectivamente la eficiencia de los aparatos tecnológicos y el conocimiento verdadero. Los diferentes sistemas técnicos interactúan entre sí, generando efectos diferenciados entre ellos: “La verdad epistemológica y la eficiencia tecnológica son

valores necesarios pero por sí mismos insuficientes para la producción de la justicia y la libertad [...] Justicia y libertad son producibles sólo por la *política* [...]” (Fisher, 2010, p. 266). De acuerdo con el autor, existe una brecha entre, por un lado, el uso de los aparatos y sistemas tecnocientíficos y, por otro, de su evaluación y entendimiento —ajuste crítico— respecto a las decisiones que guían la praxis de las personas, “[...] esta *brecha praxeológica* consiste en tanto que el ciudadano [...] como el político típico [...] usan más los artefactos científicos, tecnológicos y políticos más que su capacidad crítica sobre las condiciones y resultados de aquel uso [...]” (Fisher, 2010, p. 259). Desde esta perspectiva, entonces “La filosofía política de la ciencia y la tecnología hace radicar los problemas derivados de la *brecha praxeológica* en la agencia humana del sistema político *qua* sistema técnico [...]” (Fisher, 2010, p. 263). Fisher considera que el pensamiento de la tecnicidad implica que la filosofía reflexione conjuntamente las mutuas implicaciones de lo que, el autor considera, son los principales temas de la filosofía de la ciencia (representación científica), de la filosofía de la tecnología (eficiencia e intervención tecnológica) y de la filosofía política (la obligación política) y sus efectos en la libertad y la justicia públicas. A partir de esto, Fisher da la siguiente definición:

Si consideramos que toda filosofía es una reflexión crítica *sobre* el estar del hombre en el mundo *desde* ese mismo estar en el mundo, valga decir que es una crítica sobre lo que el hombre *hace, conoce, fabrica y es*, hecha desde esas mismas condiciones técnicas, *entonces* la filosofía política de la ciencia y la tecnología es una *crítica de la técnica*, una crítica de la *condición humana* entendida como *tecnicidad*, como libertad y opcionalidad de cursos de acción. Si la cultura y la civilización técnica actual —ese horizonte desde el que se lleva a cabo toda praxis— es un producto derivado de la modernidad, entonces la filosofía política de la ciencia y la tecnología será también una crítica (un sometimiento al tribunal de la razón) de las condiciones y resultados de la modernidad.

(Fisher, 2010, p. 317).

En tanto que reflexión múltiple “[...] la *filosofía política de la ciencia y la tecnología* aparece como ese terreno específico de cultivo conceptual necesario para el mejor desempeño de proyectos de investigación transdisciplinar, como el campo CTS, mismo que convendría por eso mejor llamar CTP [ciencia, tecnología y política].” (Fisher, 2010, p. 326).

Una cuarta propuesta de aproximación a la filosofía política de la ciencia es la de Ricardo J. Gómez quien apuesta por establecer algunos de los criterios de su aceptabilidad:

- “[...] rechazamos la creencia de que la filosofía de las ciencias, política o no, pueda proveer los fundamentos o las bases sólidas del conocimiento científico [...]” (Gómez, 2014, p. 212).

- “También abjura del *individualismo liberal* que considera al sujeto liberal, valorativamente neutro, como el creador/productor de conocimiento científico.” (Gómez, 2014, p. 212).
- “La filosofía de las ciencias *no es reducible* a una mera *epistemología*; es decir, no es metadiscurso que utiliza básicamente recursos lógicos para elucidar el conocimiento científico en una dimensión pura y simplemente cognitiva, dejando de lado aspectos de otras dimensiones, como por ejemplo la ética o la metafísica. Por eso es «filosofía de», porque recurre a todas las dimensiones del ámbito filosófico.” (Gómez, 2014, p. 212).
- No se abandona la idea de objetividad pero se recalca el papel que juega la razón práctica en la toma de acuerdos incluso en la práctica científica.
- “Es *crítica*, incluso de las aproximaciones tradicionales u ortodoxas avalorativas de las ciencias, justamente y en primer lugar, por reconocer la presencia de valores no cognitivos en la investigación científica [...] Al devenir valorativa, deviene crítica. La evaluación lleva a la pregunta ¿por qué esto en lugar de aquello?, y presupone una postura crítica desde la que ha de responderse a dicha pregunta.” (Gómez, 2014, pp. 212-213).
- Es una propuesta inclusiva pues no ignora las interpretaciones filosóficas que se asumen como avalorativas.
- La filosofía política de las ciencias debe estar al tanto de las circunstancias que inciden y afectan a las ciencias y, por ello, es dinámica.
- Al reconocer el importante papel de los valores sociales presentes en la práctica científica, deviene socialmente relevante.
- “Es *pluralista*. No hay *una sola* filosofía política aceptable de las ciencias. Nuestro proyecto es defender la necesidad y la factibilidad de una filosofía política de las ciencias y no presentar aquella que sea la única aceptable. [...] Ahora bien, la razón principal de este carácter pluralista de nuestra propuesta está en el más importante y auténticamente «político» rasgo de toda filosofía política de las ciencias, su contextualidad.” (Gómez, 2014, p. 214).
- “Es *contextual*, es decir, procede de un contexto humano con instituciones determinadas —*polis*— y adopta sus valores en consonancia (o, en casos excepcionales, en oposición) con los valores de ella. Por ser contextual, motiva y hace necesaria una nueva investigación empírica acerca de cuáles son los valores no cognitivos que en cada

contexto favorecen (o no) el crecimiento del conocimiento científico. En consecuencia, una filosofía política de las ciencias, en el sentido que le hemos dado en nuestro trabajo, en vez de eliminar la política de la ciencia, da lugar a dos preguntas: ¿cuáles políticas favorecen y cuáles obstruyen el desarrollo de las ciencias?, y ¿para quiénes, especialmente, se produce tal favorecimiento u obstrucción?” (Gómez, 2014, p. 214).

- “Deberíamos remarcar que es política porque reconoce que lo aceptado como verdad científica en cada momento es, cristaliza, lleva en sí *poder* [...]” (Gómez, 2014, p. 215).

Se ha optado por las citas textuales no sólo porque hacen posible contrastar las propuestas de los autores sino porque, debido a la dificultad de encontrar definiciones en la literatura, es pertinente tener a la mano los escasos textos para evaluar, en su literalidad, las ideas vertidas sobre esta incipiente área de reflexión filosófica.

Para Alfredo Marcos la filosofía política de la ciencia bascula sobre el eje de una racionalidad que subyace a tecnociencias y política; para Ambrosio Velasco es importante tomar en cuenta los presupuestos políticos de la ciencia pero también las consecuencias políticas de los conocimientos científicos sobre las sociedades multiculturales; para Jaime Fisher lo importante es pensar en las condiciones y efectos de la eficiencia de las intervenciones tecnológicas y las representaciones científicas sobre la libertad y justicia pública; finalmente, para Ricardo J. Gómez la filosofía política de la ciencia tiene como tarea principal acentuar y extraer las consecuencias del papel que los valores políticos —sociales, contextuales— juegan en la razón práctica de quienes están involucrados en la praxis científica, tanto en las condiciones socioeconómicas que la hacen posible así como en las investigaciones, consensos y controversias teóricas y prácticas.

Cabe resaltar que son principalmente autores iberoamericanos quienes han abordado la tarea, nada sencilla, de intentar caracterizaciones o definiciones, si bien escuetas, de lo que puede entenderse por filosofía política de la ciencia, lo cual es un indicador de la diferencia de agendas filosóficas en distintas partes del mundo. Si bien autores anglosajones han reflexionado recientemente en torno a las relaciones entre ciencia y orden político, generalmente lo hacen asumiendo que la cuestión se reduce a un debate entre ciencia y democracia representativa. Una notable excepción es Joseph Rouse quien en su obra *Knowledge and Power: Toward a Political Philosophy of Science* (1987) señala que las más recientes

propuestas de la filosofía de la ciencia pueden generar un marco teórico desde el cual puedan evaluarse de manera crítica y adecuada los impactos de las prácticas científicas en el ámbito político. Sin embargo, incluso Rouse sólo esboza cuatro enfoques posibles: (1) una interpretación política de las ciencias dentro de la tradición liberal; (2) críticas “de liberación” a las ciencias (feminismo, marxismo, etc.); (3) interacciones entre cuestiones políticas y científicas (con el problema de qué cuenta como acción política en una época de primacía del juicio científico y tecnócrata); (4) desde Heidegger y Foucault: dentro de las ciencias hay un peligro por el poder que se ejerce en ellas, sin embargo, aún no contamos con una crítica que permita despejar la visión pesimista de ese poder (Rouse, 1987, pp. 249-250).

Como se ha visto hasta aquí, no existe una única definición ni una caracterización generalizada de lo que se puede entender por “filosofía política de la ciencia”, aunque sí existe una coincidencia en las temáticas sobre lo que se filosofa bajo esa etiqueta: relación entre ciencia y política, discusión sobre la autoridad y la justificación política y epistémica, consecuencias políticas del conocimiento científico, discusión del significado de la “racionalidad” ante los problemas epistémicos y sociopolíticos. Dichos antecedentes son importantes para la propuesta de una definición sobre esta incipiente área de la filosofía.

4.3 ¿Qué es una definición?

Proporcionar definiciones es una tarea central en filosofía en tanto que la coherencia y/o no contradicción de los razonamientos y propuestas teóricas dependen de una adecuada dilucidación y determinación terminológica y conceptual. Además, muchos de los compromisos teóricos fundamentales (ontológicos, epistémicos, metafísicos, éticos, políticos) se manifiestan en la definición de los términos y/o entes de una teoría (Dusek, 2006, p. 26).

En términos generales y clásicos, una definición consiste o bien en la equivalencia, igualdad, determinación y/o identificación del término a definir (*definiendum*) con una expresión, proposición u otro término (*definiens*), (Ferrater, 1975, p. 412; Perelman y Olbrechts-Tyteca, 2006, p. 328); o bien, es la “[...] especificación del significado o, alternativamente, del contenido conceptual de una expresión.” (Audi, 2004, p. 234), lo cual generalmente se lleva a cabo a través de una afirmación o proposición (Routledge, 2000, p. 197). De acuerdo con diferentes autores, existen distintos tipos de definiciones según sea el tipo de discurso o

razonamiento empleado. En filosofía, la distinción clásica se da entre las definiciones reales y nominales.

Las definiciones reales expresan la esencia del *definiendum* y se considera que pueden ser verdaderas o falsas en tanto que “Definir un ente consiste entonces fundamentalmente en tomar la clase de la cual tal ente es miembro y en situar esta clase en el «lugar ontológico» correspondiente.” (Ferrater, 1975, p. 411). Se considera a Aristóteles el autor, en *Tópicos*, 102a 1-5, de la versión “canónica” de la definición real: “*Definición* es un enunciado que significa el *qué es ser* [τὸ τί ἐν εἶναι]. O bien se da como explicación un enunciado en lugar de un nombre, o bien un enunciado en lugar de otro: en efecto, es posible definir algunas de las cosas ya expresadas por un enunciado.” (Aristóteles, 2007, p. 80).

Las definiciones nominales, por otro lado, se consideran una determinación arbitraria del sentido de los términos y no de los entes, es decir, una “[...] definición de un nombre (por lo general, un nombre común) dado su significado lingüístico.” (Audi, 2004, p. 235). Se atribuye a John Locke la distinción entre esencias reales y nominales como el fundamento de estas definiciones. En su *Ensayo sobre el entendimiento humano*, el filósofo inglés escribió:

Qué es una definición. Creo que se ha convenido que una definición no es sino el mostrar el sentido de una palabra por otros varios términos que no sean sinónimos. Ahora bien, como el sentido de las palabras no es sino la idea misma significada por quien emplea la palabra, entonces, el sentido de cualquier término se muestra, o la palabra se define, cuando, por medio de otras palabras, la idea de la cual la palabra es signo, y a la cual va aneja en la mente de quien habla, se representa, por decirlo así, o se expone ante la mirada de otro, y de este modo se determina su significado. Tal es la única utilidad y la finalidad de las definiciones, y, por lo tanto, la única medida de lo que es o no es una buena definición.

(Locke, 2005, p. 412).

Otros autores han considerado otros tipos de definiciones, baste aquí señalar sólo dos más mencionadas por Val Dusek (2006, pp. 27-29):

- **Definición estipulativa:** el sentido de los términos es determinado por otros de una manera arbitraria en tanto que se niega que existan las clases naturales (es equivalente a la definición nominal).
- **Definición por precisión (*precising*):** común en las disciplinas académicas, incluyendo a la filosofía, y que no es enteramente arbitraria ni meramente descriptiva sino que determina los límites específicos de aplicación de un término.

En este capítulo se opta por las definiciones por precisión entendidas como una clase de definiciones estipulativas y nominales en las cuales lo que se determina es el sentido con el cual los conceptos se emplean, rechazando así la idea de que puede haber algún medio intelectual o empírico que dé acceso a las supuestas esencias reales o clases naturales reales. Este ensayo se realiza desde una postura abiertamente nominalista y, por lo tanto, las definiciones aquí propuestas no pretenden ser la enunciación de la esencia de los temas abordados ni ser la “colocación adecuada” de un ente en su respectiva “clase natural”, sino enunciados que reflejan los compromisos teóricos por los cuales se apuesta. Por lo tanto, la definición de “filosofía política de la ciencia” que se propone en la siguiente sección es, por su propia naturaleza, una propuesta falible que dista de pretender zanjar la cuestión de una vez y para siempre.

4.4 Filosofía política de la ciencia: una propuesta

Una manera de aproximarse a un concepto filosóficamente problemático es a través de la revisión de los términos o palabras involucradas. En este caso, en la expresión “filosofía política de la ciencia” aparecen tres términos que son equívocos en tanto que no hay una definición única y unívoca de ninguno de ellos, además de que su significado ha variado a lo largo de la historia. La revisión, sea etimológica o histórico-filosófica, no es una simple y estéril enumeración sino que permite un análisis crítico o bien una problematización de los términos así como de los conceptos y compromisos teóricos relacionados.

4.4.1 Filosofía

En primer lugar, la filosofía. Tradicionalmente, la filosofía ha sido definida según su origen etimológico: del griego “φιλοσοφία” (*philosophia*): “amor por la sabiduría” o bien “amistad con la sabiduría”. Puesto que no es posesión de un conocimiento inmóvil o atemporal, se le ha considerado tradicionalmente como una actividad de constante cuestionamiento, curiosidad e investigación respecto al mundo y la vida humana, sobre las creencias en torno a la realidad y la vida en sociedad y, así mismo, se le considera una actividad reflexiva, argumentativa y dialógica (Solomon y Higgins, 2010).

Existen varios tipos de definiciones de la filosofía, entre ellas, las que la definen según el origen cultural occidental, según su objeto de estudio, las características sociales y/o las prácticas en que se manifiesta, etc. Rein Raud (2006) afirma —a partir de una propuesta de Carine Defoort respecto a la filosofía china— que existen por lo menos seis maneras de definir la filosofía y otras tradiciones intelectuales no occidentales de pensamiento:

1. *Definición esencialista*: la que reduce la filosofía a la tradición occidental y excluyendo de ese estatus a las demás tradiciones intelectuales de otras culturas y regiones, por ello, su mayor defecto es su proceder sectario.

2. *Definición poscolonial*: cuando respecto a producciones intelectuales de antiguas metrópolis y países ahora independientes, un análisis desde la tradición occidental muestra una equivalencia de valía filosófica entre ambas culturas.

3. *Definición multicultural*: el abandono de una visión positivista y de desarrollo lineal unidireccional de la civilización hace posible el reconocimiento abierto de cualquier tradición de pensamiento —occidental y no occidental— como filosofía, lo cual implica una redefinición o transformación de la visión esencialista.

4. *Definición posmoderna o por nacionalismo cultural posmoderno*: las críticas internas a la propia tradición occidental, desde visiones minoritarias, ha generado una continua redefinición que abole los criterios obsoletos o demasiado estrechos que impiden el desarrollo de la filosofía.

5. *Definición externa*: de carácter más bien descriptivo antes que netamente normativo, establece un criterio derivado de las manifestaciones sociales e institucionales, tanto en Occidente como en otras culturas del mundo, de la filosofía entendida como una práctica cultural entre otras, de las cuales se distingue por seis características: *i)* reconoce la identidad individual de los autores de doctrinas; *ii)* ofrece una capacidad explicativa respecto a las cosas que estudia; *iii)* tiene un carácter dialógico; *iv)* es acumulativa en tanto que las obras y doctrinas pasadas no desaparecen ni se desechan ante la aceptación de nuevas propuestas; *v)* proclama un proceder independiente de las instituciones de poder; *vi)* propicia la tolerancia en la sociedad.

6. *Definición interna*: intenta establecer o identificar un predicado o una característica específica y común a toda propuesta filosófica. La gran mayoría de las definiciones son de este tipo y ofrecen o bien una característica o bien afirman que la filosofía se determina por su objeto de estudio.

Para esta investigación se define, desde una visión interna, de manera estipulativa y nominal, a la filosofía como una actividad teórica, individual o colectiva, que en principio es realizable por cualquier persona que cuente con las condiciones materiales necesarias para tener una vida que le permita tematizar intelectualmente cualquier aspecto de su entorno bajo un pensamiento de segundo orden (*i.e.*, no positivo en el sentido de investigación científica empírica o experimental, aunque no por ello anti empírico o anti científico o anti experimental), reflexivo (*i.e.*, sus propias premisas y supuestos pueden ser auto examinadas, revisadas y criticadas, del mismo modo que sus conclusiones pueden aplicarse a sí mismo), crítico (no meramente como una evaluación ponderada de acuerdo a criterios de discernimiento intelectual y lingüístico sino también en el sentido de compromiso teórico y evaluación de las razones y supuestos que funcionan como condición de posibilidad de otras afirmaciones, proposiciones o juicios normativos)³ y falibilista (esto es, parte del supuesto de que en principio toda afirmación teórica —filosófica o no— puede ser errónea o insuficiente por sí misma y por ello es necesario la constante revisión crítica así como la consulta de otros tipos de conocimientos generados por otras disciplinas, culturas y personas).

4.4.2 Lo político

En segundo lugar, lo político, del latín “[...] *politicus* (adjetivo) ‘político’, del griego *politikós* [πολιτικός] ‘de los ciudadanos’, de *polítes* ‘ciudadano’ (de *pólis* [πόλις] ‘ciudad’ [...])” (Gómez de Silva, 2003, p. 552). Tradicionalmente, lo político se ha considerado como los asuntos de gobierno. El origen etimológico refiere a los asuntos de la *pólis*, ciudad-estado, forma de organización política que, de acuerdo con Mogens Herman Hansen, se ha presentado en diferentes regiones del mundo a lo largo de la historia humana y se caracteriza por (1) una importante urbanización; (2) una economía basada y centrada en el mercado de la ciudad; (3) un proceso de toma de decisiones en el cual cobra relevancia la participación de una asamblea de ciudadanos y cuyas leyes se extienden sobre sus regiones adyacentes; (4) por la interacción entre diferentes ciudades-estado que genera ligas o federaciones (Hansen, 2006, p. 8).

³ Esta noción de filosofía crítica fue desarrollada en la tradición occidental por Immanuel Kant: “Llamo *trascendental* a todo conocimiento que se ocupa, en general, no tanto de objetos, como de nuestra manera de conocer los objetos, en la medida en que ella ha de ser posible *a priori*.” (Kant, [KrV, B25], 2011, p. 66). En tanto que este argumento tiene una estructura lógica definida, es posible aplicarlo más allá del ámbito epistemológico. Para una propuesta de formalización modal del argumento trascendental, *cfr.*: Ornelas (2005, p. 102).

De acuerdo con Aristóteles, “Llamaremos, pues, ciudadano al que tiene derecho de participar en el poder deliberativo o judicial de la ciudad; y llamaremos ciudad, hablando en general, al cuerpo de ciudadanos capaz de llevar una vida autosuficiente.” (Aristóteles, [*Pol.*, 1275b 20], 2011, p. 68). Desde la Antigüedad y hasta la Modernidad, el ámbito político se consideraba algo natural y el mayor signo distintivo de lo humano: “[...] resulta manifiesto que la ciudad es una de las cosas que existen por naturaleza, y que el hombre es por naturaleza un animal político; y resulta también que quien por naturaleza y no por casos de fortuna carece de ciudad, está por debajo o por encima de lo que es el hombre.” (Aristóteles, [*Pol.*, 1253a 5], 2011, p. 4).⁴ Esta visión organicista de lo social, sin embargo, desapareció en el pensamiento occidental a mediados del siglo XVII dando paso a la noción de lo político como un artificio surgido de un pacto fundacional o contrato social.⁵

Pero, ¿qué es lo político? De acuerdo con el controvertido jurista alemán Carl Schmitt, el criterio propio de lo político —no derivado de verdades metafísicas ni revelaciones teológicas ni demostraciones científicas empíricas— es la distinción entre amigo y enemigo, distinción que denota una confrontación *existencial* entre grupos humanos que pueden darse muerte entre sí, esto es, siempre se habla de amistades colectivas públicas y enemistades colectivas públicas y no individuales,⁶ así pues, la distinción amigo/enemigo hace posible el surgimiento de unidades políticas soberanas, es decir, entidades políticas capaces de dictar órdenes en situaciones excepcionales y detentoras del derecho sobre la vida y la muerte de sus miembros,

⁴ Si bien Aristóteles consideraba a las abejas como animales políticos, el Estagirita afirmaba que la condición política es lo que distingue a los hombres de las bestias y los dioses (*cf.*, *Pol.*, 1253a 25), pero de igual manera a los hombres libres de los esclavos, pues la condición de ciudadanía es la participación para lograr una vida bella y feliz (το ξὴν εὐδαιμόν καὶ καλῶς), (*Pol.*, 1280b 40): “Pero la ciudad existe no sólo por la simple vida, sino sobre todo por la vida mejor [εὐ ξήν] (pues de otro modo podría haber una ciudad de esclavos y aun de animales distintos del hombre, lo cual no puede ser, por no participar unos y otros de la felicidad ni de la vida de libre elección).” (Aristóteles, [*Pol.*, 1280a 30], 2011, p. 81).

⁵ “Lo que distinguió a Hobbes y a todo moderno «idioma de la individualidad», es que la política era vista menos como una actividad colectiva encaminada hacia una meta única, que como una interacción entre seres humanos vinculados unos con otros por los lazos de la justicia legal. En tanto que Platón y Aristóteles veían en el hombre al «animal político» y eludían así por completo la cuestión de la obligación política, los modernos pensadores voluntaristas, desde Hobbes en adelante, podían repudiar la legitimidad de toda ley o institución que no se derivara del consentimiento (tácito o expreso) de aquellos a los que estaba dirigida.” (Smith, 2003, p. 139).

⁶ “Los conceptos de amigo y enemigo deben ser tomados en su significado concreto, existencial, y no como metáforas o símbolos; no deben ser mezclados y debilitados por concepciones económicas, morales y de otro tipo, y menos que nada ser entendidos en sentido individualista-privado, como expresión psicológica de sentimientos y tendencias privadas.” (Schmitt, 2004a, p. 178).

siendo el Estado una unidad política derivada y no fundamento de lo político, contrario a la interpretación usual.⁷

En esta investigación se abraza una concepción voluntarista, decisionista y “polemológica” de lo político cuyo origen podría cifrarse en el fragmento 53 de Heráclito, que reza “La guerra [πόλεμος] es el padre de todas las cosas; a unos los muestra como dioses y a otros como hombres, a unos los hace esclavos y a otros libres.” (Kirk, Raven y Schofield, 2008, p. 261).⁸ Siguiendo a Schmitt, una postura “polemológica” implica considerar que la propia condición humana es inherentemente problemática y que porta en sí misma un antagonismo en potencia que, como amenaza directamente la supervivencia individual y colectiva, refiere a una cuestión puramente existencial.⁹ Un enfoque decisionista y voluntarista implica que no son las leyes en cuanto *corpus* legal las que determinan las acciones políticas sino la decisión del soberano, en particular, en las situaciones excepcionales, tales como en una guerra civil u otro conflicto particularmente violento, en las cuales las normas vigentes son inaplicables o pierden su vigencia y sólo la decisión y voluntad soberana pueden mantener el orden y unidad política.¹⁰ De acuerdo con este enfoque, es la decisión y voluntad ante las situaciones excepcionales las que generan los distintos tipos de organización política y, puesto que las formas de gobierno se diferencian según se concibe o define al soberano (uno, pocos, muchos, todos), lo político es un campo abierto y cambiante en el cual no hay instituciones políticas universalmente necesarias ni clausura posible respecto a la mejor forma de organización política, es decir, no hay fin de la historia y no hay razón para descalificar *a priori* como tiranía o anarquía a formas de organización no democráticas-representativas.

⁷ “La unidad política presupone la posibilidad real del enemigo y por consiguiente otra unidad política, coexistente con la primera. Por ello, mientras exista un Estado habrá otros estados [...] El mundo político es un pluriverso y no un universo.” (Schmitt, 2004a, p. 200).

⁸ “πόλεμος πάντων μὲν πατήρ ἐστι, πάντων δὲ βασιλεὺς, καὶ τοὺς μὲν θεοὺς ἔδειξε τοὺς δὲ ἀνθρώπους, τοὺς μὲν δούλους ἐποίησε τοὺς δὲ ἐλευθέρους.” (Kirk, Raven y Schofield, 2008, p. 261).

⁹ Según Schmitt, en diferentes áreas del pensamiento hay nociones “antropológicas” diferentes, *v.gr.* para un teólogo el ser humano es intrínsecamente un pecador y “[...] puesto que la esfera de lo político está determinada, en última instancia, por la posibilidad real del enemigo, las concepciones y las teorías políticas no pueden fácilmente tener como punto de partida un «optimismo» antropológico.” (Schmitt, 2004a, p. 209).

¹⁰ “En ello radica la esencia de la soberanía estatal, cuya definición jurídica correcta no es un monopolio coercitivo, sino un monopolio de la decisión [...] El caso de excepción revela la esencia de la autoridad estatal [...] En él, la decisión se separa de la norma jurídica y la autoridad demuestra (para formularlo en términos paradójicos) que no necesita tener derecho para crear derecho.” (Schmitt, 2004b, p. 28).

4.4.3 La ciencia

En tercer lugar, la ciencia, del “[...] latín *scientia* ‘conocimiento, ciencia’, de *scient-*, radical de *sciens* ‘que sabe’, participio activo de *scire* ‘saber’ (sentido implícito: ‘distinguir, discernir, separar’), del indoeuropeo *skei-* ‘cortar, hender, partir’ [...]” (Gómez de Silva, 2003, p. 164). Hoy sabemos que los intereses, tensiones, conflictos y otras relaciones sociales que atraviesan a los grupos humanos están relacionadas, influyen o afectan en mayor o menor medida, a las teorías, métodos, prácticas y obras científicas y que a su vez la ciencia retroalimenta a las formaciones sociales pues da forma al mundo en la medida en que describe y define objetos, conceptos y maneras de manipular la realidad a través de procesos sometidos a la mirada — crítica o no— de una intersubjetividad de iguales o pares.

“La ciencia es un fenómeno muy complejo, y jamás podremos dar una definición como conjunto de condiciones necesarias y suficientes que la abarque completamente.” (Olivé, 2014, p. 97). Si bien no hay una definición única de lo que es la ciencia, sí es posible dar cuenta de por lo menos tres tipos de definiciones usuales:

1. El conjunto de conocimientos obtenidos por un procedimiento metódico o protocolario definido intersubjetivamente. Generalmente, se identifica con una visión internalista, es decir, un enfoque que desconoce o minimiza la importancia de factores sociales, económicos, políticos, militares, etc., en la obtención de conocimiento.
2. El conjunto de comunidades humanas y/o de las prácticas que aquellas usan para obtener conocimiento científico. No necesariamente es sinónimo de externalismo.
3. El conjunto de conocimientos obtenidos metódicamente y las prácticas de los científicos.

Ninguno de los tres tipos de definiciones usuales resulta individualmente suficiente para el ensayo filosófico propuesto en este capítulo.

En esta investigación por ciencia o, mejor dicho, ciencias, se considera a los sistemas conformados por conocimientos, conceptos y teorías, por objetos, infraestructura *ad hoc*, instrumentos, herramientas y literatura —libros de texto, artículos, manuales técnicos, enciclopedias, diccionarios—, así como por prácticas y acciones específicas, obtenidas y/o determinadas a través de diversos métodos empíricos —de observación, descripción, registro, experimentación, corroboración, contraste— consistentes, iterables, revisables y en principio replicables por otros (considerados pares u homólogos), establecidos intersubjetivamente a lo largo de la historia, reproducidos, enseñados y realizados por comunidades humanas

específicas —generalmente institucionalizadas— dentro de sociedades humanas —política y económicamente complejas— más amplias, y cuya finalidad es elaborar una noción de lo real referida a entidades y/o principios descriptivos o explicativos empíricos, materiales y/o teórico-formales (estos últimos en tanto que son útiles teórica y prácticamente) y cuyo acceso epistémico sólo requiere capacidades cognitivas humanas y/o computacionales artificiales pero no entidades supra naturales o supra mundanas. Además, las ciencias se relacionan, retoman y/o reutilizan conocimientos, experiencias y prácticas generadas por otros saberes no necesariamente institucionalizados formalmente en academias o disciplinas.

4.4.4 Filosofía política de la ciencia: una propuesta

Una vez revisadas y dadas definiciones propias de los términos individuales, se proporciona a continuación, desde una postura abiertamente nominalista y falibilista, una definición por precisión, estipulativa y nominal de filosofía política de la ciencia.

En esta investigación se define a la filosofía política de la ciencia como un marco filosófico amplio —desde el cual puedan generarse interpretaciones y teorías disímiles, divergentes e incluso opuestas—, un marco teórico cuyo objetivo principal es analizar, interpretar, discutir y problematizar, reflexiva y críticamente, las relaciones contextuales, polémicas y conflictivas, entre las ciencias y el orden político en uno o más de, por lo menos, los siguientes tres grandes temas:

- 1) El conocimiento en relación con el fundamento de la autoridad epistémica tecnocientífica y la autoridad política.
- 2) Las implicaciones ontológicas de los desarrollos tecnocientíficos en las formas de entendimiento del mundo y de la organización y relación política de las sociedades humanas.
- 3) Las relaciones de poder que tanto ideológica como materialmente favorecen o impiden el desarrollo de las ciencias, las tecnologías y las formas de organización y participación ciudadana.

El primer tema, *el conocimiento y su relación con la autoridad*, puede abordarse de por lo menos dos maneras: por un lado, enfocando la naturaleza del conocimiento como fundamento teórico pero también práctico y, por lo tanto, político; esta clase de discusiones abarcan no

sólo los temas tradicionales en torno a la tecnocracia y la pericia (*expertise*) en torno a asesoramiento y gobernanza sino también lo que recientemente algunos autores han denominado “epistemocracia”,¹¹ es decir, el antiguo problema de si hay algún conocimiento específico, o incluso ciencia específica, que deban conocer los gobernantes y el consecuente debate en torno a quiénes son esos sujetos cognoscentes y, por lo tanto, sujetos gobernantes —preocupación que aparece en la filosofía occidental por lo menos desde Platón (tanto en el *Protágoras* como en el *Político* y la *República*)—. Por otro lado, más que fundar la autoridad epistémica y la política en algún conocimiento específico o particular (científico o moral), el otro enfoque se centra en la racionalidad como eje transversal a los distintos ámbitos de conocimiento y acción humana colocando así la discusión más allá del nivel binario conocimiento/ignorancia, poniendo la cuestión en una perspectiva más amplia en un metanivel donde lo que está en juego son criterios globales de interpretación, evaluación, valoración y elección, criterios no necesariamente formales o formalizables sino que cuentan como suposiciones, asunciones o preferencias implícitas a la hora de calificar algo como racionalmente fundamentado, razonable o no. En ambos casos, ya sea la cuestión tecnocracia/epistemocracia o la racionalidad, hay un fuerte acento en torno a cuestiones epistémicas como factores de justificación en torno a la autoridad de un juicio —sea de un intelectual humanista/experto tecnocientífico o soberano político— pero sin reducirse a epistemología, en todo caso, sería una reflexión de las repercusiones políticas de cierta manera de concebir la teoría del conocimiento y cómo ésta se puede emplear para fundar una noción de autoridad.¹²

¹¹ “[...] this technocracy –often called «expertocracy» or «epistemocracy»– strives to «edict norms, regulate politics and government behaviour» [...]” (Ballangé, 2017, p. 141) “Most political philosophers who have considered the nature and desirability of epistemocracy have followed [David M.] Estlund in assuming that it means government by a specific class of experts or the learned, and have therefore been concerned about its possible tensions with democracy.” (Connor, 2019, p. 309). “From the Greek *episteme*, meaning knowledge, the word is meant to stand for rule of the knowers. What I will mean by epistocracy is not quite this simple [...] An epistocrat might be a wise ruler or an advocate of epistocracy, depending on the context [...] «Epistemocracy» would be truer to the Greek, but that gives us «epistemocrats», which seems too high a price.” (Estlund, 2008, pp. 277-278, n.16).

¹² “De hecho, el rechazo de toda autoridad no sólo se convirtió en un prejuicio consolidado por la Ilustración, sino que condujo también a una grave deformación del concepto mismo de autoridad. Sobre la base de un concepto ilustrado de razón y libertad, el concepto de autoridad pudo convertirse en lo contrario de la razón y la libertad, [esto es] en el concepto de obediencia ciega.” (Gadamer, 1999, p. 347). Según Gadamer sería un prejuicio propiamente ilustrado el considerar la autoridad como un ejercicio despótico, tiránico o dictatorial, confundiendo así el ejercicio de la *potestas* bajo el derecho de la *auctoritas*, recuérdese que el nacimiento del Estado moderno se cifra precisamente en la fusión de esos dos antiguos atributos del poder en la tradición política occidental, siendo el *Leviatán* de Thomas Hobbes quizá la primera obra en la literatura filosófica moderna en la que el acto jurídico de la autorización se considera la justificación suficiente de la potestad del soberano, sea éste

El segundo tema, *las implicaciones ontológicas de los desarrollos tecnocientíficos en las formas de entendimiento de lo real y de la organización política de las sociedades humanas*, refiere tanto a los efectos del conocimiento científico sobre la visión del mundo que tiene una sociedad, así como las transformaciones de las relaciones de poder gracias a los desarrollos tecnológicos y el acceso social a los mismos. En el primer caso, si se acepta, ya sea desde una postura naturalista o desde el realismo metafísico, que el universo se comporta de acuerdo a las descripciones y teorías científicas, entonces algunas cuestiones políticas clásicas deben replantearse y dar cabida a la importancia de factores materiales que nunca antes se habían considerado como elementos fundamentales, tales como las condiciones ambientales o fenómenos tecnológicos emergentes que hacen posible el funcionamiento aceptable de las sociedades humanas. En el segundo caso, la filosofía política de las ciencias puede otorgar un marco de interpretación y discusión amplio respecto a las cuestiones de lo que cuenta como un juicio experto *políticamente relevante* —y si debe seguirse de manera políticamente inflexible o qué parte de la sociedad debe participar en la toma de decisiones y planeación en relación a la justicia, a la equidad, formas de gobierno, etc.—,¹³ si existen o no soluciones técnicas a problemas sociales complejos,¹⁴ la no menos polémica cuestión del estatus político y jurídico de las instituciones creadoras, distribuidoras y operadoras de tecnología y juicios técnicos, así como las reconfiguraciones —generalmente asimétricas— de las relaciones de poder, derechos y obligaciones que llevan a cabo los sistemas tecnocientíficos en los niveles material, intelectual y el de participación social en la toma de decisiones.¹⁵

una asamblea o un monarca (dicho sea de paso, el prejuicio ilustrado a la autoridad también es origen de muchas interpretaciones deformantes de la obra de Hobbes).

¹³ El matiz diferencial entre este y el primer tema (epistemocracia y tecnocracia) es que en este segundo aspecto se evalúa meramente en un sentido político lo que cuenta o no como juicio experto relevante políticamente: “La pregunta por la legitimidad de la ciencia y de la tecnología, pensada desde la *filosofía política*, es decir, desde su *dimensión pública*, será una legitimidad estrictamente política, y no epistémica ni ingenieril. No se pregunta por la *verdad* o la *eficiencia* sino en la medida en que esos valores disciplinares se conectan actual o potencialmente con la *justicia* y la *libertad*.” (Fischer, 2010, p. 265).

¹⁴ A pesar de ser una propuesta criticada fuertemente, el señalamiento de Garret Harding (1968) respecto a la “tragedia de los comunes” sigue siendo pertinente: existen problemas sociales y geopolíticos que no tienen solución técnica pero sí prudencial.

¹⁵ Si bien generalmente se piensa que el juicio experto es una asesoría, un consejo o una mera evaluación respecto al estado de la cuestión de algún tema de interés público y que los sistemas técnicos/tecnológicos sólo operan en el nivel del mercado, durante los últimos cincuenta años a las organizaciones internacionales del sector financiero se les otorgó un estatus técnico, político y jurídico mucho más preponderante que simples consejeros o entes del “sector privado”: “La clave siempre es la argumentación técnica que en el modelo neoliberal, está por encima de la democracia o de los derechos humanos. La práctica totalidad de las agencias de calificación [financiera] tienen esa consideración [...] Es importante entender que «no son autoridades» pero que, sin embargo, están «al

Finalmente, el tercer tema, sobre *las relaciones de poder que favorecen o impiden el desarrollo de las ciencias, las tecnologías y las formas de organización y participación ciudadana*, genera discusiones sobre lo que cuenta como una sociedad y una ciencia bien ordenada (*cfr.*, Kitcher, 2001), otro ejemplo son los miembros del primer Círculo de Viena que apostaron por la democratización de la ciencia como una manera de democratizar a la sociedad, antes que recurrir a principios normativos de regulación y ordenamiento “internalista”, (*Cfr.*, Asociación Ernst Mach, 2002).

La filosofía política de la ciencia, que hasta ahora ha sido más una intuición o proyecto filosófico que un área concreta, se considera aquí como un marco filosófico de interpretación plural de los problemas surgidos de la interacción entre lo político y las ciencias a través de temas solapados o que atraviesan a ambos, tales como el conocimiento, la justicia, la realidad o el mundo, problemas que más que ser un simple agregado de sus partes, emergen de temas que las áreas filosóficas tradicionales individualmente no logran cubrir en su totalidad dada la complejidad o novedad de los desafíos tecnocientíficos, políticos y epistémicos que han emergido en las últimas décadas. Coincidiendo en gran medida con otros autores, se afirma aquí que la filosofía política de la ciencia no puede reducirse a ciertas áreas específicas de la filosofía y, por lo tanto, es un marco plural donde importan los valores pero también las distintas maneras de comprender la realidad, es decir, consideraciones ontológicas.

La filosofía política de la ciencia que se propone en este capítulo puede llegar a ser una subdivisión disciplinar filosófica que permita un acercamiento a las ciencias y tecnologías desde las implicaciones políticas en los distintos niveles o clases de relaciones entre tecnociencias, mundo y sociedad, a saber: (1) en el papel de las acciones humanas respecto a hechos del mundo que son a la vez objeto de investigación y/o intervención científica y tecnológica (por ejemplo, grandes problemas ambientales de causa antrópica como el cambio climático en curso); (2) en los medios de acceso epistémico a ciertos niveles de complejidad y materialidad del mundo (es decir, los aspectos políticos que atraviesan y tensan a las tecnociencias mismas); (3) las acciones y decisiones políticas basadas o influenciadas por juicios científicos expertos.

mando». [...] Las autoridades elegidas democráticamente han legitimado a estas instancias privadas entregándoles el poder de impedir que las decisiones populares se puedan poner en marcha cuando «van en contra de los mercados».” (Monedero, 2017, pp. 60-61).

Postular a la filosofía como una vía de abordaje a esos problemas no significa bajo ninguna circunstancia que se anule o se desconozca la importancia y relevancia de los estudios CTS, sino que simplemente se señalan las diferencias específicas entre ambos abordajes, pues los estudios CTS son predominantemente estudios empíricos o de casos concretos que, a pesar de recurrir a muchas de las discusiones epistemológicas y de filosofía de la ciencia, avanzan tesis que pretenden ser explicaciones causales o genéticas de cómo valores o experiencias de los sujetos, actores o actantes cognoscentes están ligadas y juegan un papel en la generación de conocimiento verdadero (Nightingale *et al.*, 2019, p. 3). Más que visiones opuestas o en competencia, son visiones complementarias:

[...] el problema de que se ocupa CTS es, en su acepción más básica, el problema de la *injusticia* generada y perceptible en la distribución de costos y beneficios de la ciencia, la tecnología y, según creo y sostengo yo, de la política misma, entendidas como instancias de la *técnica*. Es en este sentido amplio que, en su vínculo con CTS, la filosofía política de la ciencia y la tecnología de inspiración pragmatista ha de lidiar centralmente con el problema filosófico y político fundamental: la *justicia*.

(Fischer, 2010, pp. 256-257).

Por otro lado, la filosofía entendida como actividad teórica de segundo orden, reflexiva, crítica y falible, no pretende describir empíricamente mecanismos, redes o entes que expliquen las causas que operan en la generación positiva de conocimientos y/o sus efectos sociales.

La filosofía no pretende dar respuestas positivas (empíricas) sino que, en tanto que actividad teórica y especulativa, genera más bien preguntas que abren más caminos posibles de interpretación y valoración, y en eso radica no sólo su signo distintivo y utilidad sino también su carácter crítico: “La esencia de la *pregunta* es el abrir y mantener abiertas posibilidades.” (Gadamer, 1999, p. 369). En palabras de Jaime Fisher, la filosofía no se reduce a una actividad disciplinar académica profesionalizada “[...] sino más bien la reflexión crítica que en principio le es posible llevar a cabo a cualquier ser humano [...] La filosofía, decía, se aboca centralmente a la formulación de preguntas y al *ensayo* [...] de respuestas [...]” (Fischer, 2010, p. 259).

Problemas ambientales de escala planetaria como el cambio climático antropogénico demuestran que el conocimiento empírico por sí mismo no basta para resolver las dificultades y que, para los investigadores de esa área, resulta evidente la necesidad de respuestas que es necesario imaginar en tanto que las actuales son insuficientes (Nightingale *et al.*, 2019, p. 2). Si alguna propuesta constructiva puede partir de la filosofía será porque en ésta aún hay

espacio crítico para fomentar la creatividad teórica, aunque resolver problemas concretos requieran de la concurrencia de más disciplinas y análisis minuciosos de casos particulares, aunque también es preciso señalar que ni la filosofía ni ninguna otra disciplina bastan por sí mismas para resolver las grandes preguntas y problemas que afronta la humanidad en el siglo XXI.

4.4.5 Filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico: una propuesta

Sobre la base de todas las reflexiones previas y las definiciones propuestas en este capítulo, ahora es posible avanzar una definición propia, por precisión, nominal y estipulativa, de “filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico” la cual, necesariamente, sería una subdivisión del marco filosófico establecido en la sección anterior.

En esta investigación se define a la filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico como un marco amplio de análisis, interpretación, discusión y problematización reflexiva y crítica, esto es, filosófica, de las relaciones contextuales, polémicas y conflictivas, entre las ciencias que estudian el clima y el orden político en torno a uno o más de, por lo menos, los siguientes tres temas:

- 1) El papel del conocimiento del clima como fundamento y justificación de la autoridad epistémica y la autoridad política.
- 2) Las implicaciones del conocimiento científico del clima sobre las formas de comprender el mundo y de las organizaciones y relaciones políticas de las sociedades humanas.
- 3) Las relaciones de poder que favorecen o impiden el desarrollo de las ciencias y tecnologías climáticas así como las formas de organización y participación ciudadana respecto a acciones vinculadas con mitigación y adaptación al cambio climático.

Respecto al primer tema, *el papel del conocimiento del clima como fundamento y/o justificación de la autoridad epistémica y autoridad política*, existen diferentes abordajes y discusiones derivadas del problema de la tecnocracia/epistemocracia climática y racionalidad. Uno de los varios tópicos de discusión de este primer punto, es el problema de porqué escuchar a ciertas comunidades científicas y no a otras para la elaboración de políticas basadas en escenarios de

mitigación del cambio climático antropogénico si, en teoría, hay autoridad epistémica homóloga en todo conocimiento científico, sea de la rama que fuere; esto es, existe un problema de disputas por autoridad intraepistémica y de prioridad de juicios expertos.

Un ejemplo concreto es el debate en torno a las medidas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de escenarios basados en “cambios robustos” de la temperatura global promedio (+ 1° C, 2° C, etc.) y la divergencia de enfoques entre el reporte especial del IPCC sobre los escenarios de 1.5 °C (IPCC, 2018) y el (contra)reporte de *Climate Land Ambition and Rights Alliance* (CLARA, 2018), pues mientras el primero explora cuatro trayectorias para evitar el aumento de la temperatura promedio de la superficie terrestre +2 °C respecto al periodo preindustrial recurriendo explícitamente a las técnicas y tecnologías de bioenergía con captura y almacenamiento de carbono (BECCS, por sus siglas en inglés) que se sostienen sobre supuestos polémicos, por su parte, el reporte CLARA muestra que en el conocimiento y creación de alternativas socioeconómicas también juegan otros actores como los pueblos originarios cuyo conocimiento local y el fortalecimiento de su autonomía puede ser una vía más económica, mucho más eficaz y socialmente más justa que la vía “*high tech*” para lograr los objetivos marcados por el Acuerdo de París.

Respecto al segundo tema, *las implicaciones del conocimiento científico del clima sobre las formas de comprender el mundo y de las organizaciones y relaciones políticas de las sociedades humanas*, punto sobre el cual se ahondará más adelante, baste señalar que hay un consenso entre diferentes disciplinas y autores de que existe una disparidad entre el entendimiento de las causas subyacentes del cambio climático antropogénico y las medidas políticas de mitigación y adaptación: “[...] por el momento, *no existen políticas sobre el cambio climático*. Es decir, no hemos llevado a cabo un análisis detallado de las innovaciones políticas que deben realizarse si queremos que nuestras aspiraciones a limitar el calentamiento global se conviertan en realidad.” (Giddens, 2010, p. 15).

Finalmente, en torno al tercer tema, *las relaciones de poder que favorecen o impiden el desarrollo de las ciencias y tecnologías climáticas así como las formas de organización y participación ciudadana respecto a acciones vinculadas con mitigación y adaptación al cambio climático*, pueden enmarcarse algunas de las discusiones sobre la justicia climática en cuanto problema no sólo jurídico-técnico sino como un problema ético, político y ontológico en torno al porvenir y el deber

para con las generaciones más jóvenes y futuras, es decir, en tanto que trastocamiento de la noción clásica de justicia.¹⁶

4.5 Aportes para una filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico

Sobre la base de las consideraciones previas, ahora se ensaya una propuesta de filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico desde el segundo gran tema del marco teórico: análisis, interpretación, discusión y/o problematización reflexiva y crítica de las implicaciones del conocimiento científico del clima sobre las formas de comprender el mundo y de las organizaciones y relaciones políticas de las sociedades humanas.

Las políticas internacionales de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para frenar el cambio climático antropogénico están fallando al no alcanzar los objetivos límite anuales de emisiones (*cf.*, cap. 3, pp. 71-73). Este fallo es multifactorial, sin embargo, ¿es posible que uno de los elementos principales del fracaso de las políticas internacionales de mitigación del cambio climático antropogénico sea que el pensamiento político, tradicionalmente antropocéntrico, no esté valorando ni comprendiendo adecuadamente tanto el rol materialmente determinante de un clima terrestre estable para la viabilidad de las sociedades humanas así como la importancia del conocimiento científico sobre el tema? Sí. Existe un problema teórico de fondo que coadyuva al fallo de las políticas climáticas de mitigación: la diferencia de compromisos ontológicos entre las teorías políticas y científicas sobre lo real y las acciones humanas. Recuérdese aquí que los compromisos ontológicos son aquellas entidades, jerarquías, procesos, estructuras y relaciones que individuos, culturas y/o teorías (científicas o no) sostienen y presuponen como existentes y

¹⁶ Bruno Latour también ha abordado el tema del cambio climático. Respecto a su obra *Cara a cara con el planeta* (2017) es necesario aclarar los siguientes puntos: (1) a pesar de haberla consultado no se considera aquí como base de un marco teórico sino como un simple ejemplo, entre otros posibles, de un abordaje humanístico del cambio climático, cuyas opiniones se comprenden pero no se comparten ni defienden; (2) la teoría de Latour podría clasificarse dentro del “realismo especulativo” y, como toda postura realista, está en el opuesto polar del ensayo nominalista propuesto en este capítulo; (3) no parece ser el caso que Latour revise de manera autocrítica sus supuestos metafísicos y filosófico-políticos, lo cual lo lleva a defender airadamente sus afirmaciones pero no a explorar ni reconocer los límites de su teoría; (4) no queda claro si Latour considera a su trabajo como filosófico o como científico-social (en particular, antropológico) o como ambos, sin embargo, aclarar esto le corresponde al autor francés y no a sus lectores. Para críticas puntuales a la obra de Latour *cf.*: Stamenkovic (2020).

permiten articular una noción general más o menos coherente del mundo así como las acciones que se hacen y derivan de ese entendimiento.

El pensamiento político, —sea antiguo, moderno, liberal, polemológico, posmoderno o voluntarista— tiene compromisos ontológicos intrínsecamente antropocéntricos —en tanto que son compromisos teóricos y prácticos ejercidos, defendidos y sostenidos por seres humanos ante, incluso en contra de, otros seres humanos aunque sean posturas a favor de otros seres vivos— en tanto que es un medio para asegurar la supervivencia en común junto a nuestros semejantes que, en potencia, pueden actuar contra los demás, ya sea individual o colectivamente (*i.e.*, como criminales o como enemigos).

Los compromisos ontológicos del pensamiento político difícilmente pueden dejar de lado los intereses humanos de una vida en común relativamente estable, sostenible y reproducible a lo largo del tiempo y el espacio ante amenazas existenciales de cualquier signo —aunque, preponderantemente, de agresiones provenientes de otros seres humanos—. En política, aún es vigente la aguda, y comúnmente mal citada, observación de Thomas Hobbes: “Para hablar imparcialmente, estos dos dichos son muy verdaderos: que *el hombre es una especie de Dios para el hombre* y que *el hombre es un auténtico lobo para el hombre*. Lo primero es verdad si comparamos unos ciudadanos con otros; y lo segundo, si comparamos ciudades.” (Hobbes, 2000, pp. 33-34).¹⁷ La resolución estable y sostenible en el tiempo y el espacio de conflictos que permita a las colectividades humanas sobrevivir y reproducirse es el núcleo en torno al cual se articulan los compromisos ontológicos de las diversas propuestas y teorías políticas, aunque sus diferencias específicas radican en las postulaciones disímiles de sujetos políticos, nociones de distribución de poder, derechos, responsabilidades, etc.

El pensamiento político, esencialmente antropocéntrico, es materialmente el resultado de factores que le resultan temáticamente marginales y que sólo cobran relevancia política en tanto que devienen origen de conflictos. La estabilidad climática —una condición material de posibilidad de la existencia, subsistencia y reproducción de las sociedades humanas— ha permanecido al margen del horizonte de la visión política hasta hace aproximadamente medio siglo (*cfr.*, Howe, 2014, p. 104).

¹⁷ En este pasaje se entiende el término “hombre” en su sentido genérico que, etimológicamente, remite a la condición finita de los seres humanos: “**hombre** [...] del latín *hominem* acusativo de *homo* [...] del indoeuropeo *gnom-on-*, *dhghom-on-* [...] literalmente = ‘terreno terrestre’ (idea implícita probable: ‘no celeste; el que no es un dios’) [...]” (Gómez de Silva, 2003, p. 349).

Ante la amenaza existencial que representa el cambio climático antropogénico, los gobiernos de muchos países han confiado en el juicio científico experto para establecer criterios de acción al respecto. Empero, tener una respuesta científica no significa compartir los mismos principios ni supuestos respecto a la estructura del mundo ya que es enteramente posible tener diferentes motivos y cursos de acción a partir de la misma información, en tanto que los seres humanos, individual y colectivamente, podemos tener diferentes juicios respecto a lo que consideramos adecuado a un fin según nuestros “mapas” de lo real.

4.5.1 Política cercana al naturalismo y un nuevo contrato social de la ciencia como alternativa

Diferentes maneras de ver el mundo otorgan pesos diferenciados a la libertad de acción y a los medios por los cuales descubrimos nuestro “sitio en el cosmos”. Una respuesta política al cambio climático antropogénico podría ser más eficiente si se hicieran dos movimientos teóricos: (1) aceptar que las ciencias realizan la mejor descripción y explicación *laica e intersubjetivamente ponderada* de los impulsores directos del cambio climático antrópico, así como de muchas de las soluciones actualmente existentes y aplicables; (2) abogar por una movilización social y política del conocimiento, epistemológica y metodológicamente riguroso, para garantizar la continuidad de la existencia social y del sistema tecnocientífico.

La filosofía política de la ciencia ensayada aquí apuesta por la conjunción de una política cercana al naturalismo y un nuevo contrato social de la ciencia como una alternativa teórica que podría coadyuvar a una eventual mejora de la aplicación de políticas de mitigación del cambio climático antropogénico. En tanto que propuesta filosófica, se hace hincapié en factores teóricos, normativos, y no se pretende trazar una hoja de ruta de acciones concretas.

De manera breve, lo que aquí se propone es que haya una asunción cruzada de los compromisos ontológicos. Si el pensamiento político, tradicionalmente antropocéntrico, asume los compromisos ontológicos de las ciencias que, en una sobre simplificación, pueden reducirse a explicaciones, descripciones y predicciones laicas sobre el mundo, entonces el resultado es una política cercana al naturalismo. Por otro lado, si las ciencias asumen el carácter polémico e irrenunciablemente antropocéntrico de lo político, entonces el resultado es un nuevo contrato social de las ciencias en el cual se abogue, desde el rigor epistemológico

y metodológico, un compromiso político para cambiar la actual trayectoria socioambiental que pone en riesgo la existencia de la civilización y del sistema tecnocientífico en el futuro.

4.5.1.1 Pensamiento político cercano al naturalismo

Si el pensamiento político, tradicionalmente antropocéntrico, partiera por lo menos momentáneamente de los compromisos ontológicos sostenidos por las teorías científicas sobre el cambio climático antropogénico entonces su foco de atención se centraría en: (1) reconocer la importancia material —no trascendente ni divina ni supernatural— de la estabilidad climática como una condición material de posibilidad de la existencia, supervivencia y reproducibilidad de las sociedades humanas tal y como las conocemos; (2) dar prioridad a ralentizar la emisión antrópica de gases de efecto invernadero y del cambio de uso de suelo; (3) reconocer que el actual modo de producción y reproducción social es uno de los impulsores más importantes de ese cambio ambiental; (4) asumir que las mejores respuestas dadas por las ciencias son respuestas complejas y que las respuestas simplistas que recurren a un sólo factor (por ejemplo, el crecimiento económico) o a explicaciones sobrenaturales (por ejemplo, postular que habrá una salvación milagrosa porque se es “el pueblo elegido”) son incapaces de ofrecer soluciones materialmente efectivas; (5) reconocer que para generar tales respuestas es necesario contar con estructuras sociales adecuadas que deben fomentarse, favorecerse, cuidarse, mantenerse y reproducirse, es decir, no pueden existir buenas respuestas científicas sin un buen sistema tecnocientífico materialmente competente y socialmente accesible.

Asumir estos compromisos ontológicos significa, entre otras posibilidades teóricas, acercar el pensamiento político a una postura naturalista, enfoque que afirma, entre otras tesis, que la filosofía no puede restringir *a priori* el alcance del acceso epistémico de las ciencias al mundo y que la normatividad semántica, epistémica y ético-política no puede fundamentarse en principios, entes o fuerzas sobrenaturales sino en teorías, leyes o hechos naturales descritos por las ciencias (Rouse, 2002, p. 1).

Existen diferentes tipos de naturalismo, desde los enfoques más simples que defienden la “imagen científica del mundo” sin ahondar en sus implicaciones u orígenes, hasta las que pretenden ser una visión científica en sí misma de la totalidad del mundo. Las visiones más extremas son las que más objeciones despiertan, objeciones que muchas veces se hacen extensivas sin más a toda propuesta naturalista.

Un naturalismo perfecto, a ultranza o radical, sería un hecho científico capaz de explicar todo de manera científica y que, a su vez, sería enteramente explicable en términos científicos. Empero este naturalismo sólo sería posible si fuera una teoría científica del todo y las ciencias fueran o bien la última palabra posible respecto al mundo o bien un estado de perfección intelectual más allá y más acá del cual nada más pudiera saberse. Esta clase de naturalismo pretende ser un círculo virtuoso, autosustentado, lo cual sólo sería posible si fuera al mismo tiempo una ciencia y una metaciencia, pero eso es caer en el mito del dominio disciplinar que hace de la física o cualquier otra ciencia una nueva metafísica (*cf.*, cap. 3, pp. 83-84). No es la clase de naturalismo defendido aquí.¹⁸ Una visión naturalista moderada, o tangencialmente naturalista, no es irracional o poco razonable si, desde una revisión filosófica crítica, se analizan sus ventajas respecto a la solución de problemas concretos.

Por naturalismo no se entiende en esta investigación a un proyecto de convertir en hechos científicos demostrados a las afirmaciones filosóficas sino que por naturalismo se entiende a un simple principio teórico de la búsqueda de congruencia o coherencia teórica de supuestos filosóficos ante y por medio del mejor conocimiento científico disponible. Sería un grave error creer que la finalidad última de esta clase de naturalismo es convertir la filosofía en una ciencia —porque esto es material y procedimentalmente imposible— o regir todo razonamiento según la ciencia —porque esto implicaría un dogmatismo promiscuo en tanto que habría que ser dogmáticos e intolerantes a cada nuevo avance científico y vivir siempre al tanto de cada avance científico que, por su propia naturaleza, es falible—.

La filosofía no puede ser ni devenir ciencia porque la ciencia emerge de condiciones sociales complejas a lo largo de la historia de las sociedades humanas mientras que la filosofía es una actividad teórica relativamente simple. Es posible que sociológicamente la ciencia sea una derivación de las escuelas filosóficas, pero no así temáticamente en tanto que no hay necesidad alguna que vincule las inquietudes filosóficas con las investigaciones científicas y viceversa, ya que las ciencias abordan temas complejos que resultan ajenos o imposibles de desarrollar mediante mera reflexión filosófica y, viceversa, dado el carácter crítico y reflexivo de la

¹⁸ Discutir a profundidad pros y contras de las distintas clases de naturalismo va más allá de los límites y objetivos de esta investigación. Para una propuesta de naturalismo entendido como metodología *cf.*: Giere, (2008). Para una crítica pormenorizada a diferentes clases de naturalismo *cf.*: Moser y Yandell (2000); Rosenberg (2014).

filosofía, es posible que algunas cosas sean totalmente ajenas a las ciencias por tener otro procedimiento y otra finalidad.

Dado lo anterior, no puede haber una filosofía naturalizada, *i.e.*, no puede haber una filosofía que devenga ciencia porque la filosofía sólo requiere —desde siempre— una vida con necesidades vitales y sociales mínimas satisfechas así como capacidades y habilidades cognitivas individuales simples para ejercerse, mientras las ciencias requieren un mayor grado de complejidad social y material para desarrollarse plenamente, además de competencias cognitivas, instrumentales y lingüísticas más elaboradas. La filosofía mantiene su “identidad disciplinar”, por decirlo de alguna manera, debido a su proceder relativamente sencillo y porque sus objetivos no necesariamente coinciden con el conocimiento positivo.

Postular a las descripciones científicas como las mejores disponibles *no es un hecho científico sino un compromiso ontológico, un compromiso normativo que no puede reducirse a un hecho científico*, so pena de hacer de la ciencia la nueva metafísica al tiempo que se niega esa elección —error de muchos naturalistas y científicistas—. Partir de una noción falibilista tanto de la filosofía y de la ciencia implica la necesidad de recurrir a diferentes disciplinas respecto a ciertos temas en tanto que no hay dominio disciplinar absoluto.

El naturalismo no es “la visión” o la “la imagen” del mundo hecha por La Ciencia, sino una ontología que recurre a resultados y procedimientos científicos para tratar de construir una teoría general de la realidad, lo cual muchas veces significa extrapolar y magnificar resultados científicos concretos más allá de sus dominios disciplinares o del conocimiento actual efectivo. Estrictamente hablando, el naturalismo no ofrece una “visión científica” del mundo, es decir, *el naturalismo no es una ciencia sino una ontología que no ofrece una síntesis de todo el saber científico* —algo semejante escapa a las capacidades humanas dada la pluralidad de disciplinas científicas y la enorme cantidad de información y conocimiento específico de cada una— *pero sí ofrece una visión coherente y laica del mundo a partir de las teorías, conocimientos y datos científicos elegidos para trazar un mapa de lo real.*

La propuesta presentada en este capítulo defiende un enfoque cercano a un naturalismo como el descrito anteriormente. Esta perspectiva considera que es imposible que la filosofía o el pensamiento político devengan ciencias dadas las marcadas diferencias entre estas disciplinas y que no es necesario desarrollar una visión total y completa de cada aspecto de lo real según las ciencias —pues algo así resulta humanamente imposible en tanto que no se

puede compilar todo el conocimiento científico existente—. Un enfoque tangencial al naturalismo defiende el conocimiento científico con acuerdo mayoritario en ámbitos específicos y, desde ahí, desarrolla una visión del mundo o de una fracción del mismo, asumiendo los compromisos ontológicos de algunas teorías, disciplinas o campos científicos específicos sin que por ello se tenga que extrapolar a todos los ámbitos de lo real.

Una política climática cercana al naturalismo, por lo tanto, no pretendería explicar termodinámicamente la manera en que se llega a un acuerdo en una asamblea o cómo es posible el entendimiento conceptual y normativo, pero sí asumiría como adecuadas —y las mejores disponibles— las descripciones y explicaciones termodinámicas de las causas del cambio climático en curso. Aún más, en tanto que los cambios en el uso de suelo también son fuentes antrópicas de gases de efecto invernadero, también asumiría como adecuadas —y las mejores disponibles— las descripciones y explicaciones de los factores biológicos y pérdida de suelos en relación con el cambio climático.

Un problema mayúsculo ocurre respecto al cálculo de costos de las soluciones políticas del cambio climático antropogénico pues, se supone, esas estimaciones gozan del respaldo científico de la economía pero, al mismo tiempo, los enfoques macroeconómicos centrados en el crecimiento han sido identificados por otras ciencias como un impulsor clave en la aceleración de las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero (*cf.*, cap. 2, p. 60). La manera de enfrentar esta paradoja no es cuestionar la cientificidad de la economía sino en cuestionar la pertinencia de soluciones monofactoriales (pues es poco probable que sean efectivas ante un problema complejo) además de consultar las propuestas de otras escuelas económicas (por ejemplo, la economía ecológica o la economía biofísica).

La solución del problema del cambio climático antropogénico no puede darse sólo por medio de comités correctivos como si de pequeños errores se tratase. Las descripciones y explicaciones que nos otorgan las ciencias de la materialidad climática en su estado actual implican ya una evaluación de las formas de organización políticas y económicas contemporáneas que indican que el antropocentrismo político sólo está funcionando en la creación de instrumentos diagnósticos pero no en la creación de soluciones.

Actualmente hay una pérdida de imaginación política debida a la inercia poco saludable a acelerar los actuales modos de producción y reproducción social que son intensivos en el uso

de energía y recursos al mismo tiempo que implican una pérdida sustantiva de capacidades de supervivencia y adaptación de millones de personas en el mundo.

Una política cercana al naturalismo haría visibles y aplicables los diagnósticos y soluciones que son propuestas desde una pluralidad de disciplinas, epistémica y metodológicamente rigurosas, que señalan la importancia material de la estabilidad climática como una condición de posibilidad de las sociedades humanas tal como las conocemos. Empero dichas propuestas no pueden simplemente darse por supuestas como si surgieran espontáneamente, por ello es necesario también replantear el papel que las ciencias juegan en las sociedades contemporáneas y abogar por su impulso desde las instituciones estatales y la sociedad.

4.5.1.2 Un nuevo contrato social de la ciencia

Si las ciencias asumieran temporalmente los compromisos ontológicos del pensamiento político, que son irrenunciablemente antropocéntricos, entonces, se podría afirmar que: (1) aún en el idealizado caso de que existieran respuestas puramente objetivas y neutras, la única manera de hacerlas útiles y movilizarlas es a través de mediaciones sociopolíticas necesariamente conflictivas y antropocéntricas, pues es a agentes humanos políticos a quienes les interesan esas respuestas; (2) no es el caso que información climática alarmante desencadena acciones rápidas y contundentes para detener el actual curso del sistema climático, pues no hay una relación necesaria entre información y acción desde el momento en que la prelación, importancia o urgencia de los eventos no depende de la calidad de la información científica misma sino de los intereses de los actores políticos respecto a esa información, porque hay incluso para quienes el actual curso del sistema Tierra les resulta beneficiosa, *v. gr.*, el capitalismo del desastre.¹⁹

Que las respuestas científicas sean laicas no implica que quienes recurren a ellas también lo sean o actúen conforme a las verdades científicas. Es decir, el juicio científico no es

¹⁹ De acuerdo con Naomi Klein la doctrina económica neoclásica o neoliberal defendida por Milton Friedman y la Escuela de Chicago ha cifrado en las grandes crisis la oportunidad de establecer condiciones de mercado de competencia perfecta: autorregulación absoluta del mercado guiado sólo por oferta-demanda sin intervención estatal de ninguna clase. Este es un capitalismo del desastre porque las grandes privatizaciones del sector público, las desregulaciones del mercado y los recortes al gasto público para favorecer los servicios privados ocurren después de un “[...] desastre original —llámese golpe [de Estado], ataque terrorista, colapso del mercado, guerra, *tsunami* o huracán— [que] lleva a la población de un país a un estado de *shock* colectivo [...] las sociedades en estado de *shock* a menudo renuncian a valores que de otro modo defenderían con entereza.” (Klein, 2018, p. 41).

necesariamente la última palabra ni el primer paso de las acciones políticas. No es que desde el pensamiento político sea imposible entender el conocimiento científico, el problema es que los factores que determinan las acciones políticas (y humanas en general) no sólo son verdades epistémicas sino también intereses y creencias no empíricas. Las narrativas de identidad o mitos fundacionales que guían las doctrinas políticas y militares de Estados contemporáneos juegan un papel igual o más importante que el saber científico a la hora de diseñar planes de acción. Las ontologías políticas verticales que defienden una visión jerárquica de la humanidad —sea en base al desarrollo cultural, características fenotípicas, condiciones económicas, origen étnico y lingüístico, etc.— hoy por hoy se siguen empleando como narrativas justificadoras de grandes intervenciones geopolíticas, *v.gr.*, la doctrina del excepcionalismo estadounidense o las distintas teologías políticas (abiertas o veladas) de distintos países productores de petróleo del Medio Oriente.

La ciencia no es una actividad neutra, sociopolíticamente hablando, pues su desarrollo ha sido posible por el cultivo y defensa que sus practicantes —de diversos extractos sociales— han hecho históricamente, y su institucionalización es resultado del apoyo político y económico de autoridades públicamente reconocidas y/o por detentores de poder fáctico dentro de sociedades humanas que se han ido complejizando material y organizativamente a lo largo del tiempo.

La actual visión de la ciencia como sociopolíticamente neutra y ajena a los vaivenes de la vida pública es resultado del “contrato social de la ciencia” establecido en la segunda mitad del siglo XX en los países occidentales tras la Segunda Guerra Mundial. Las relaciones entre ciencia y sociedad se convirtieron en un campo cuya regulación se estimó necesaria en tanto que los desarrollos tecnocientíficos fueron un factor decisivo en la resolución de esa conflagración global. Se considera al reporte escrito por Vannevar Bush en 1945 como el texto fundacional de este simbólico e hipotético pacto en el cual la ciencia se puso al servicio de las sociedades “libres” para elevar la calidad de vida y lograr el progreso cultural a cambio de apoyo financiero duradero y relativa autonomía para la investigación básica (Bush, 1960, p. 33).

Una de las imágenes más nítidas del “contrato social de la ciencia” es la ofrecida por Michael Polanyi en su escrito de 1962 sobre la “República de la ciencia” en el cual se afirma que ésta es una comunidad de “exploradores” guiados por un deseo de saciar su curiosidad y que en

su actuar —individual libre e independiente— llegan a una coordinación espontánea, por ajuste mutuo, con sus pares. De acuerdo con esta visión, la ciencia actúa regida por una autoridad impersonal que deriva de la competencia epistemológica de sus miembros y que establece como criterios de pertenencia las contribuciones o propuestas científicas plausibles, precisas, sistemáticas, interesantes y originales. La autoridad intersubjetiva y con proceder tradicional que guía a la ciencia sostiene que: (1) cualquier otro tipo de autoridad detendrá el progreso científico; (2) no importa la fuente de financiamiento ni cómo se distribuya el dinero, aunque siempre deben garantizarse recursos a los investigadores más eminentes o con mayor mérito, sólo así se asegura el crecimiento de la ciencia en su conjunto; (3) la ciencia debe practicarse en un lugar libre de cualquier otro tipo de opiniones: las universidades; (4) en tanto que impersonal, pero ejercida entre todos los practicantes de la ciencia, los juicios de valor derivados de la “opinión científica” no pueden atribuirse individualmente a ningún científico (Polanyi, 2000).

El “contrato social de la ciencia” es un ideal que confunde los criterios epistemológicos — que en toda disciplina son autónomos e “internos”— con la ausencia de responsabilidad social ante alguna autoridad. Responsabilidad es la capacidad y/u obligación de dar respuestas por los hechos y omisiones ejercidos individual y/o colectivamente. Que haya una institución social a la cual se le exime de la responsabilidad ante la sociedad sólo garantiza que dentro de ella tampoco haya más criterios que los que autónomamente impone para con sus miembros, criterios que, al ser sociológica y económicamente muy limitados, actualmente están creando crisis dentro del propio sistema tecnocientífico —*v.gr.*, precariedad laboral, clasismo, racismo, violencia de género, etc.—. La “república de la ciencia” de Polanyi es una organización autónoma estratificada donde no existe la responsabilidad individual y hay preferencia por las “eminencias” cuyo avance individual, en teoría y de manera no explicada, significa la iluminación colectiva.

Es sintomático que Polanyi afirme que la comunidad científica se ordena espontáneamente como si fuese guiada por una “mano invisible” (Polanyi, 2000, p. 3), en tanto que para dicho autor las sociedades liberales, el mercado “autorregulado” y la ciencia “autónoma” son ejemplos del mismo mecanismo de organización social. Este ideal, empero, diluye en la supuesta opinión experta impersonal las responsabilidades por las acciones y omisiones de estructuras jerárquicas —realmente existentes— entre las cuales los bienes materiales y

económicos se distribuyen *de facto* de manera desigual, decisiones a veces injustas amparadas bajo el supuesto o ideal de que el avance de unos individuos —por mecanismos desconocidos— traerá el avance de todos los miembros de la sociedad.

La defensa de la ciencia como un campo social y político neutro es en realidad la defensa del *statu quo* que hoy hace posible que el funcionamiento de aquella sea ajeno a disputas de carácter político y económico pero sí sea afectado por las decisiones derivadas de las resoluciones de tales conflictos.

Así como el pensamiento político ha pasado por alto las condiciones ambientales y geofísicas que hacen posible el sostenimiento de las sociedades humanas, la noción de una ciencia sociopolíticamente neutra no valora la importancia de las condiciones económicas, sociales, materiales y políticas que la hacen posible. Ambos puntos de vista —una política ajena a los factores climáticos y una ciencia ajena a los factores sociales y políticos— sólo refuerzan el mismo modelo socioeconómico imperante tendiente al productivismo y al crecimiento “infinito”.

La ciencia sociopolíticamente neutra, al renunciar a emitir juicios respecto al *statu quo* que hace posible la estructuración social y económica que garantiza la autonomía para determinar sus propios criterios de autoridad epistémica, cede por omisión a las dinámicas del estratificado, vertical e inequitativo sistema tecnocientífico existente que opera bajo criterios económicos. Esta cesión de capacidades de acción sociopolítica se ha intensificado desde la década de 1980 a través de lo que algunos autores denominan “ciencia post académica” cuya dinámica está regida por la búsqueda de fondos para la investigación y, por lo tanto, obligada a la especificación de resultados, de impactos económicos —ganancias— y sociales relevantes, es decir, pone acento en el contexto de aplicación (Bornmann, Haunschild y Marx, 2016, p. 1478).

Mejorar las políticas de mitigación de las causas antrópicas del cambio climático en curso no se logrará simplemente poniendo a leer artículos e informes científicos a los políticos para que así sean mejores tomadores de decisiones, es necesario también que la ciencia devenga social y políticamente activa, esto es, replantear su relación con la sociedad a través de un “nuevo contrato social de la ciencia”. Esto no significa que una cosa se transforme en la otra, simplemente significa que los compromisos ontológicos de las ciencias y el pensamiento político deben cultivarse de manera cruzada y generar acciones conjuntas y sinérgicas.

Contrario al ideal de Polanyi, un nuevo contrato social de la ciencia debería considerar a los científicos no como una comunidad especial sino como ciudadanos normales sujetos, igual que otros, a las obligaciones sociales comunes, pero también sujetos de derechos comunes y universales, uno de los cuales, debería ser el acceso garantizado a un sistema de investigación público suficiente —material y financieramente— capaz de generar diagnósticos y propuestas competentes epistemológicamente, viables y efectivas ante amenazas existenciales —como el cambio climático antropogénico— y/o de “seguridad nacional” —este último concepto también debería replantearse en tanto que las grandes transformaciones ambientales representarán con mayor frecuencia una amenaza directa a la existencia material y ambiental de las sociedades y los Estados—.

Plantear un involucramiento político de la ciencia no significa abogar por la sumisión o subordinación del conocimiento a la ideología —semejante visión ya fue criticada y rechazada en el capítulo 3 respecto a la ilusión del dominio disciplinar—, significa resaltar que las personas dedicadas a las ciencias también son sujetos políticos y que una reestructuración de las instituciones científicas —que deberían ser mayoritariamente públicas para garantizar el derecho a su acceso— requiere de un compromiso político con las tareas asignadas y un uso responsable y transparente de los recursos materiales y financieros. El origen de los recursos así como su distribución sí importan de cara a la solución de problemas ambientales.

Compromiso político no representa poner en riesgo el rigor epistemológico de las ciencias, de lo contrario, sería confundir las cuestiones administrativas con las cuestiones epistemológicas. Ser administrativamente y políticamente responsables no significa deformar o tergiversar los procedimientos epistemológicos, porque lo que se defiende no es una afirmación epistemológica sino las acciones que son consecuentes con esa afirmación.²⁰

Si la actual trayectoria económica y ambiental no cambia, el colapso societal a causa del cambio climático antropogénico será inevitable. El colapso societal implicaría necesariamente el colapso del sistema científico y tecnológico actual. Por ello, asumir que la mejor actitud

²⁰ El negacionismo climático es muy exitoso porque defiende la inacción justificándola con la narración de la inexistencia del cambio climático. Muchos científicos creen que al refutar los dichos negacionistas entonces la situación se revertirá, lo cual no es el caso porque las narrativas no son causa previa de la inacción o la acción, sino justificación *a posteriori* para no cambiar las dinámicas económicas imperantes. Las disputas políticas no giran necesariamente respecto a verdades sino más bien respecto a acciones y omisiones, sean verdades o mentiras lo que las justifique. La ciencia climática justifica de sobra las “acciones climáticas” pero, mientras el imperativo economicista del “crecimiento infinito” siga rigiendo en la práctica, las acciones climáticas y las ciencias no serán tan rentables como la inacción.

científica es no criticar el *statu quo* a cambio de libertad de autodeterminación epistemológica es garantizar las futuras limitaciones materiales y financieras del propio sistema tecnocientífico en nombre de un ideal de pureza colectiva que, en la práctica, sólo refuerza las desigualdades existentes *ad intra* de ese sistema y de las sociedades que lo sustentan.

Dado el carácter global del cambio climático antropogénico y su afectación colectiva también debería fortalecerse el derecho al libre y pleno acceso a los productos de la ciencia.²¹ La comunicación y divulgación de la ciencia deberían apoyarse como tarea no sólo de formación epistémica libremente decidida por la ciudadanía alfabetizada sino también como herramienta de creación de capacidades de acción social colectiva e informada a la que todas las personas tienen derecho. Y, con mayor razón, se deben apoyar, fortalecer y transparentar los sistemas de educación pública en tanto que son un medio de producción de respuestas científicamente fundamentadas y que deberían ser socialmente justas, incluyentes y participativas ante el cambio climático antropogénico.

La ciencia no es producto de ideas inmortales flotando en el éter sino producto material de condiciones sociopolíticas y económicas concretas que están cambiando. El destino de las sociedades es, en tanto que su condición de posibilidad, necesariamente el destino de las ciencias.

4.5.1.3 “Política científicamente fundamentada y ciencia políticamente relevante”

“Necesitamos: Ciencia políticamente relevante, política científicamente fundamentada” (Conde, 2018). Pedir que la ciencia devenga social y políticamente activa no significa pedir que pierda su rigor epistemológico ni metodológico, simplemente significa que, en un nuevo contrato social de la ciencia, se reconozca que ésta es resultado del desarrollo social conjunto y su complejización a lo largo del tiempo y el espacio. Tampoco significa ceder ante el poder, porque la dominación implica relaciones regidas por al menos dos factores: (1) la fuerza que se ejerce contra las personas; (2) las capacidades que se tienen o adquieren (o que se pierden o de las que se es despojado o excluido).

²¹ Para una argumentación análoga respecto a las ciencias biológicas *cf.*, Jardón Barbolla (2016).

Una política científicamente fundada y una ciencia políticamente relevante necesita del diálogo y la retroalimentación de los compromisos ontológicos de ambas visiones, necesita de un compromiso cruzado, aunque sea momentáneo o transitorio, de los supuestos de ambas perspectivas para comprender que existe el conocimiento de alternativas plausibles pero que éstas no sirven de nada si no se fortalece y multiplica la capacidad de acción y participación en la producción y aplicación del conocimiento.

Una pregunta bien planteada ya está medio resuelta. Es necesario replantear la pregunta ante el cambio climático antropogénico. En lugar de un simple “¿cómo se corrige?”, un replanteamiento posible, entre otros, desde una filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico sería: “¿cómo logramos mantener a futuro la complejidad socioeconómica y tecnocientífica lograda históricamente hasta hoy sin devastar al planeta?” Es una pregunta política y técnica a la vez que requiere del concurso de todas las voces y del conocimiento generado por múltiples disciplinas.

Un problema colectivo requiere soluciones colectivas, preguntas creativas, ensayos plurales, incluyentes y participativos, pero también requiere tener consciencia que, en un sistema profundamente desigual, habrá quienes se esfuercen por mantener la situación imperante en tanto que les resulta redituable.

Un pensamiento político cercano al naturalismo debería llevar a la reformulación de objetivos colectivos, pasar de la idea de crecimiento económico infinito a la idea sustantiva de sostenibilidad como garantía de la existencia futura de las unidades políticas y de la humanidad misma. Una ciencia políticamente activa debería llevar a un nuevo contrato social de la ciencia que haga al conocimiento riguroso socialmente accesible y mejor distribuido para fortalecer las capacidades de acción, adaptación y resiliencia ante el cambio climático antropogénico.

Es oportuno recalcar que el ensayo filosófico aquí propuesto no pretende desacreditar a ningún saber no académico ni académico trans, inter y/o multidisciplinar que aborda los mismos temas. Como se señaló al inicio de este capítulo, la filosofía es una disciplina con una perspectiva particular, normativa, de segundo orden, también válida, que no pretende ser una fuente continua de innovación discursiva o enfoques inauditos, antes bien, es la continua reflexión de problemas y cuestionamientos surgidos de la propia existencia de las sociedades humanas a lo largo del tiempo y el espacio. Si la propuesta filosófica aquí ensayada coincide

temáticamente con algunas propuestas de disciplinas híbridas como la ecología política, la economía ecológica, el ambientalismo de los pobres, la historia ambiental, la sociología ambiental, etc., no se debe a que la filosofía carezca de originalidad o simplemente “esté muerta” como tantas veces se ha pregonado (inútilmente), sino que desde hace unas décadas las personas —dedicadas o no a la academia— han sido conscientes de la continua y acelerada degradación de las condiciones ambientales que hacen materialmente posible la existencia de las sociedades humanas y esto ha conducido gradualmente a un “giro ambiental” que comienza a desplazar lentamente al “giro lingüístico” del siglo XX (McNeill y Engelke, 2014, p. 210). Esta coincidencia temática, incluso de respuestas análogas entre saberes, aún si fuera un signo de falta de creatividad, es un indicio de que las condiciones materiales en las que la vida humana transcurren están cambiando de una manera no conocida en la historia. El Antropoceno significa el quiebre de las condiciones materiales que hacen posible la existencia de las sociedades humanas tal como las conocemos y, por lo tanto, ningún intento por enfocar estas nuevas condiciones materiales y temporales sobran, al contrario, si alguna lección podemos extrapolar de la biología es que las soluciones redundantes permiten adaptaciones más robustas ante los desafíos ambientales (Gilbert, Bosch y Ledón-Rettig, 2015, p. 616).

La propuesta bosquejada en este capítulo es sólo una de las muchas posibles respuestas que pueden generarse desde un marco teórico amplio como lo es la filosofía política de la ciencia. Si lo sugerido en esta investigación resulta demasiado escueto, queda la invitación a la reflexión y creación, individual o colectiva, de alternativas comunes, plurales, incluyentes y participativas ante el cambio climático antropogénico, porque aún hay margen de acción, porque no hay un destino climático inevitable y porque otro mundo es posible.

Conclusiones

Ante el fallo de las políticas internacionales de mitigación de las emisiones humanas de gases de efecto invernadero (GEI) causantes del cambio climático antropogénico en curso se requiere de la creatividad teórica y práctica. La filosofía política de la ciencia es un marco teórico lo suficientemente amplio para ensayar distintas respuestas normativas, especulativas, de segundo orden y falibles que puedan contribuir a analizar, mejorar, corregir y/o proponer acciones concretas que vinculen de manera más efectiva y justa a las ciencias y al ámbito político de cara a diferentes problemas que afronta la humanidad en el siglo XXI.

Una filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico como la que se ha propuesto aquí, apuesta por dos factores clave cuya acentuación podría redundar en beneficio de las políticas internacionales de mitigación de emisiones antrópicas de GEI: (1) explicaciones científicas del problema y propuestas de acción laicas; (2) reconocer y afirmar el carácter polémico y antropocéntrico de las acciones políticas que atraviesan a las ciencias en tanto que subsistemas sociales dependientes de estabilidad política y climática.

El cambio climático, natural y antropogénico, no es una cuestión que haya estado presente siempre en el horizonte de las inquietudes científicas o filosóficas sino que se ha impuesto como un problema epistémico y, posteriormente, político en el curso de los últimos 400 años.

La idea de un cambio climático en diferentes escalas (regional, hemisférico o global) surgió como una hipótesis para explicar las posibles causas naturales de las glaciaciones en el pasado geológico del planeta. A medida que tal hipótesis de cambios en el clima se consideró verosímil se hizo necesario, a su vez, explicar los posibles mecanismos causales detrás de esos cambios. Desde el siglo XIX surgieron, entre otras, dos grandes teorías: (1) la teoría de los ciclos orbitales de la Tierra como reguladores de la cantidad de radiación solar recibida por la superficie del planeta y sus consecuentes cambios de temperatura mediados por mecanismos retroalimentadores; (2) la teoría de que son las propiedades térmicas de los gases que componen la atmósfera terrestre las que determinan la temperatura promedio de la superficie del planeta. Desde la década de 1950 varias disciplinas científicas mostraron que ambas teorías son complementarias y no competidoras mutuamente excluyentes.

Durante el siglo XX se consolidó la idea de que las actividades humanas son capaces de alterar el clima en una escala global. Por lo menos desde 1938, con el trabajo de Guy Stewart

Callendar, se postuló la hipótesis de que el dióxido de carbono emitido por la quema antrópica de combustibles fósiles “atrapa” en la atmósfera una cantidad adicional de radiación infrarroja, causando con ello un aumento de la temperatura promedio de la superficie terrestre y cambiando así el clima. Hacia la década de 1980 surgió la conciencia científica de otra clase de cambio climático antropogénico potencial de signo opuesto: el “invierno nuclear”, es decir, el resultado climático de un hipotético pero posible conflicto bélico termonuclear entre las potencias mundiales, guerra que causaría grandes incendios que, a su vez, lanzarían enormes cantidades de ceniza a la atmósfera y bloquearían así la luz solar, lo cual causaría un abrupto descenso de la temperatura de la superficie terrestre y llevaría al planeta a un escenario casi o netamente extintivo.

Mientras un “invierno” u “otoño” nuclear sigue siendo hasta hoy una inquietante posibilidad, la evidencia y el consenso científico sobre la existencia de un cambio climático antrópico como consecuencia del incremento de la temperatura promedio de la superficie terrestre ha ido en aumento en el último medio siglo. Desde el informe de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos de América de 1979 —informe “Charney”— pasando por la creación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) en 1988 y el establecimiento de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) en 1992, el cambio climático antropogénico, además de un problema ambiental, se ha convertido también en un problema político al cual se han dedicado recursos para tratar de mitigar sus causas antrópicas y establecer medidas de adaptación.

Más de veinticinco años de negociaciones y acuerdos políticos internacionales, sin embargo, no han logrado ni frenar ni revertir la tendencia al alza de las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero (GEI), impulsores directos de los cambios observados en el sistema climático terrestre: aumento del forzamiento radiativo, aumento de la temperatura promedio de la superficie terrestre, aumento del nivel del mar por expansión térmica, acidificación de los océanos, disminución del hielo marino en los polos, cambios en los patrones y niveles de precipitación, cambios en la distribución de especies y aumento de su tasa de extinción, etc.

El fallo de las políticas internacionales de mitigación de emisiones antrópicas de GEI es un fracaso político multifactorial que puede analizarse desde muchos enfoques. El ensayo que se ha presentado aquí es un intento de analizar de manera disciplinar, desde la filosofía, algún elemento teórico involucrado en ese fallo. En lenguaje coloquial, si una pregunta bien

planteada ya está medio resuelta, entonces la comprensión teórica de los factores involucrados en la mitigación del cambio climático antropogénico debe jugar algún papel en el fallo de esas políticas. Aquí se revisaron algunas respuestas teóricas: (1) la ignorancia respecto a cuestiones científicas por parte de la cultura humanística y política; (2) la atención tardía por parte de la ciencia y la política a las investigaciones filosóficas sobre el clima; (3) diferencia de compromisos ontológicos respecto al entendimiento de lo real. Respuestas individualmente insuficientes: la primera tiende al cientificismo y niega la importancia de la libertad de acción y decisión —agencia humana en el sentido “clásico”, necesario para la atribución de responsabilidades éticas, políticas y jurídicas—, la segunda respuesta es históricamente inexacta y altamente idealizada respecto a la labor filosófica y científica, mientras que la tercera respuesta es analíticamente útil pero insuficiente para proponer alguna solución.

La insuficiencia de las respuestas consideradas justifica el ensayo de un marco teórico-filosófico amplio y/o flexible capaz de generar diversas interpretaciones disímiles, divergentes —incluso opuestas— respecto a la revisión, cuestionamiento y/o problematización de las dimensiones políticas y científicas relacionadas con (1) el papel de las acciones humanas respecto a hechos del mundo que son a la vez objeto de investigación y/o intervención científica y tecnológica; (2) los medios de acceso epistémico a ciertos niveles de complejidad y materialidad del mundo (es decir, los aspectos políticos que atraviesan y tensan a las tecnociencias mismas); (3) las acciones y decisiones políticas basadas o influenciadas por juicios científicos expertos.

Se insiste en la perspectiva filosófica porque no hay ningún campo disciplinar capaz de agotar todos los enfoques posibles sobre el tema. El análisis teórico de las relaciones entre las ciencias, lo político y la sociedad no es un tópico exclusivo de los estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) ni es resultado o herencia exclusiva de las escuelas de sociología del conocimiento científico o escuelas de etnografía del laboratorio. Señalar esto no significa bajo ninguna circunstancia que se menosprecie o denigre el trabajo de enfoques inter, multi y transdisciplinarios que también estudian las relaciones entre ciencia y política, sólo se subraya la diferencia de abordajes, preguntas y respuestas.

Si es posible analizar, reflexionar y problematizar de manera teórica, normativa, especulativa y falible las relaciones entre lo político y la ciencia en general, y respecto al cambio climático antrópico en particular, entonces hay una oportunidad para la filosofía. Es

innegable que la visión “clásica” de la filosofía de la ciencia —la así llamada “concepción heredada”— tiene limitaciones que han privado a la filosofía de un acercamiento empíricamente fundado a las ciencias y su desenvolvimiento histórico, empero, esas limitaciones no privan a la filosofía de su capacidad analítica y propositiva.

Las relaciones entre ciencias y sociedad pueden enfocarse filosóficamente desde un prisma político, no sólo desde cuestiones puramente epistemológicas y lingüístico-formales. Ya sea la racionalidad que atraviesa tanto a las tecnociencias y la política (Alfredo Marcos), los supuestos previos y los efectos políticos del conocimiento científico en sociedades multiculturales (Ambrosio Velasco), las condiciones y efectos políticos de las intervenciones tecnológicas y representaciones científicas (Jaime Fisher) o las consecuencias de valores políticos y contextuales que operan en la praxis científica (Ricardo J. Gómez), la filosofía política de la ciencia se muestra como un proyecto —cultivado principalmente por autores iberoamericanos— desde el cual es posible analizar y problematizar las relaciones normativas, abstractas, reflexivas, de segundo orden, de las relaciones entre las ciencias y lo político en las sociedades.

Uno de los aportes originales del presente trabajo ha sido el ensayo de una definición por precisión, estipulativa y nominal, de lo que puede entenderse por filosofía política de la ciencia. La definición que se propuso aquí no es la última palabra sobre el tema, al contrario, desde una postura nominalista y pluralista, es un aporte que se reclama falible en el cual caben las propuestas ya existentes y deja abierta la invitación a nuevos desarrollos en el área. En esta investigación se definió a la filosofía política de la ciencia como un marco teórico-filosófico amplio cuyo objetivo principal es analizar, interpretar, discutir y problematizar, reflexiva y críticamente, las relaciones contextuales, polémicas y conflictivas, entre las ciencias y el orden político en uno o más de, por lo menos, los siguientes tres grandes temas:

- 1) El conocimiento en relación con el fundamento de la autoridad epistémica tecnocientífica y la autoridad política.
- 2) Las implicaciones ontológicas de los desarrollos tecnocientíficos en las formas de entendimiento del mundo y de la organización y relación política de las sociedades humanas.
- 3) Las relaciones de poder que favorecen o impiden el desarrollo de las ciencias, las tecnologías y las formas de organización y participación ciudadana.

Cabe señalar que dar esta definición no era un objetivo inicial de la investigación, pues se partió del supuesto de que el consenso sobre el tema sería ya amplio y que una adecuada búsqueda de literatura bastaría para encontrar un estado de la cuestión suficiente. Debido a que la filosofía política de la ciencia es un marco teórico aún en construcción fue necesario aventurar un esbozo muy general de esta prometedora área de la filosofía.

Como una necesaria subdivisión del marco filosófico propuesto, otro aporte original resultante de esta investigación fue la definición por precisión, estipulativa y nominal, de la filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico: un marco amplio de análisis, interpretación, discusión y problematización reflexiva y crítica, esto es, filosófica, de las relaciones contextuales, polémicas y conflictivas, entre las ciencias que estudian el clima y el orden político en torno a uno o más de, por lo menos, los siguientes tres temas:

- 1) El papel del conocimiento del clima como fundamento y justificación de la autoridad epistémica y la autoridad política.
- 2) Las implicaciones del conocimiento científico del clima sobre las formas de comprender el mundo y de las organizaciones y relaciones políticas de las sociedades humanas.
- 3) Las relaciones de poder que favorecen o impiden el desarrollo de las ciencias y tecnologías climáticas así como las formas de organización y participación ciudadana respecto a acciones vinculadas con mitigación y adaptación al cambio climático.

Gracias a esta partición temática fue posible enmarcar la respuesta ensayada a la pregunta que guió esta investigación: ¿Es posible que uno de los factores principales del fracaso de las políticas internacionales de mitigación del cambio climático antropogénico sea que el pensamiento político, tradicionalmente antropocéntrico, no esté valorando ni comprendiendo adecuadamente tanto el rol materialmente determinante de un clima terrestre estable para la viabilidad de las sociedades humanas así como la importancia del conocimiento científico sobre el tema? Sí, la diferencia de compromisos ontológicos entre las teorías políticas y científicas sobre lo real y las acciones humanas es un problema teórico de fondo que coadyuva al fallo de las políticas climáticas de mitigación. Una filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico es un marco teórico-filosófico desde el cual es posible proponer un enfoque teórico constructivo que afirme la importancia material de un clima terrestre estable como condición de posibilidad radical para la viabilidad de las sociedades humanas presentes

y futuras y, además, reconozca que las ciencias son la manera laica más efectiva de acceder epistémicamente a ese nivel de materialidad climática.

Esta investigación partió de una pregunta que requería dos movimientos para ser resuelta: por un lado, aclarar qué es la filosofía política de la ciencia y, por otro lado, ensayar una propuesta filosófica (*i.e.* teórica de segundo orden, reflexiva, crítica y falible) ante el fallo de las políticas internacionales de mitigación del cambio climático antrópico.

Uno de los aportes ensayados aquí fue la sugerencia de cultivar de manera cruzada los compromisos ontológicos de las ciencias y el pensamiento político. Los compromisos ontológicos son aquellas entidades, jerarquías, procesos, estructuras y relaciones que individuos, culturas y/o teorías (científicas o no) sostienen y presuponen como existentes y permiten articular una noción general más o menos coherente del mundo así como las acciones que se hacen y derivan de ese entendimiento. Por ello, una asunción cruzada de esos compromisos sería un paso clave para una mejor explicación del estado del mundo y de los posibles cursos de acción. Esto implica: (1) aceptar que las ciencias realizan la mejor descripción y explicación *laica e intersubjetivamente ponderada* del problema, así como de muchas de las soluciones actualmente existentes y aplicables, lo cual desemboca en una política cercana al naturalismo; (2) abogar por una movilización social y política del conocimiento, epistemológica y metodológicamente riguroso, para garantizar la continuidad de la existencia social y del sistema tecnocientífico, lo cual implicaría un nuevo contrato social de las ciencias.

Esta propuesta filosófica es bastante esquemática dada la amplitud de los temas abordados y la poca literatura específica sobre el tema. Desde el comienzo de la investigación se tuvo conciencia de que este trabajo sólo podría ser una contribución y no es ni pretende ser la última palabra sobre el tema, por ello el nombre de “aportes” y el carácter de ensayo. Algunas de las limitaciones de esta investigación fueron: (1) el poco dialogo específico con otros autores y disciplinas, lo cual se debió a que el análisis y/o discusión de sus propuestas sobrepasaba los límites de un trabajo de maestría y habría dirigido la narrativa hacia temas ajenos a este ensayo; (2) la consulta limitada de bibliografía y hemerografía debido al tiempo de investigación, el cual estuvo determinado por la propia naturaleza de la maestría (4 semestres), hay textos que se quedaron en la repisa y sin duda podrían haber enriquecido este trabajo; (3) la escueta caracterización y ejemplificación de los tres grandes temas de la filosofía política de

la ciencia, una reflexión más detenida de la cuestión merece una investigación propia que excede los objetivos de este trabajo y del esfuerzo individual.

La principal línea de investigación abierta por este trabajo es la definición y caracterización de la filosofía política de la ciencia en general y de la filosofía política de la ciencia del cambio climático antropogénico en particular. Las definiciones aquí propuestas más que un “punto final” son una invitación al diálogo, el debate y la reflexión colectiva sobre una rama filosófica potencialmente fecunda. Este trabajo ha sido, también, un ensayo de la factibilidad de realizar *estudios filosóficos* sobre las ciencias, mostrando que es posible hacer análisis filosóficos rigurosos sin que eso desemboque solamente en el análisis lógico-lingüístico ni en reducciones epistemológicas ni en estudios científico-sociales (sean sociológicos, etnográficos o cuantitativos), pero que no se cierran a un diálogo con esos enfoques distintos y paralelos. Los capítulos de esta investigación no se inscriben, o no se ha pretendido inscribirlos, en la multi, inter o transdisciplinariedad, sino que su afán ha sido mostrar que esa vieja tarea de la filosofía llamada “reconstrucción racional” puede hacerse con apego al desenvolvimiento histórico de las ciencias y que la explicación de los temas científicos puede hacerse sin la pretensión de dictar *a priori* sus alcances y limitaciones. El rigor en el abordaje de las materias e historias de las ciencias es un deber de la filosofía si no quiere reducirse a una mera ideología o una discusión bizantina.

La filosofía política de la ciencia es una rama disciplinar promisoriosa desde la cual es posible recuperar el pensamiento de las interrelaciones entre lo político, lo social y las ciencias desde un enfoque reflexivo, normativo, abstracto, de segundo orden. La legitimidad de un abordaje no científico ni positivo ni positivista de dichas relaciones radica en la propia naturaleza del pensamiento filosófico que desde siempre ha sido una meditación sobre la vida y el mundo, un continuo cuestionamiento que abre horizontes heurísticos, interpretativos, evaluativos y de comprensión del cosmos y el lugar de la vida humana en él. Esas cualidades de la filosofía son útiles ante los grandes problemas socioambientales que enfrenta la humanidad en el siglo XXI, dificultades que para sortearse requieren pensamientos y acciones colectivas. Sea pues este trabajo un humilde aporte a la teorización y ensayo de ideas desde las que puedan pensarse soluciones ante el cambio climático antropogénico, alternativas prácticas cuya materialización nos lleve a un mundo social y ambientalmente resiliente, justo, equitativo y responsable.

Referencias

- AHRENS, C. DONALD Y HENSON, ROBERT, (2016), *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*, Boston: Cengage Learning.
- ALLABY, MICHAEL, (2007a), *Encyclopedia of Weather and Climate. Revised Edition. Volume I: A-O*, Nueva York: Facts On File.
- , (2007b), *Encyclopedia of Weather and Climate. Revised Edition. Volume II: P-Z*, Nueva York: Facts On File.
- ANDEREGG, W. R.; PRALL, J. W.; HAROLD, J. Y SCHNEIDER, S. H.; (2010), “Expert credibility in climate change”, *Proceedings of National Academy of Sciences*, Vol. 107, pp. 12107-12109. [DOI:10.1073/pnas-1003187107].
- ARCHER, DAVID; EBY, MICHAEL; BROVKIN, VICTOR; *ET AL.*, (2009), “Atmospheric Lifetime of Fossil Fuel Carbon Dioxide”, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Vol. 37, pp. 117-134, [DOI: 10.1146/annurev.earth.031208.100206].
- ARELLANO HERNÁNDEZ, ANTONIO, (2014), *Cambio climático y sociedad*, México: Miguel Ángel Porrúa/UAEM.
- ARISTÓTELES, (2007), *Tratados de lógica*, (Traducciones de Miguel Candel Sanmartín), Madrid: Gredos.
- , (2011), *Política*, (Traducción de Antonio Gómez Robledo), México: UNAM.
- ARRHENIUS, SVANTE, (1896), “On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground”, *Philosophical Magazine and Journal of Science*, Serie 5, Vol. 41, pp. 237-276. [DOI: 10.1080/14786449608620846].
- ASOCIACIÓN ERNST MACH, (2002), “La concepción científica del mundo: el Círculo de Viena”, *Redes*, Vol. 9, No. 18, pp. 103-149.
- ASPRAY, WILLIAM, (1990), *John von Neumann and the Origins of Modern Computing*, Cambridge, (MA) y Londres: The MIT Press.
- AUBENQUE, PIERRE, (2007), “¿Relatividad o aporeticidad de la ontología? De Quine a Aristóteles”, en: HURTADO, GUILLERMO; NUDLER, OSCAR, (COMPS.), (2007), *El mobiliario del mundo. Ensayos de ontología y metafísica*, México: UNAM, pp. 19-32.
- AUDI, ROBERT (ED.), (2004), *Diccionario Akal de Filosofía*, Madrid: Akal.
- BACON, FRANCIS, (2011), *La gran restauración (Novum Organum) [1620]*, Madrid: Tecnos.

- BALLANGÉ, ALIÉNOR, (2017), “Post-democracy: Principles and ambiguities”, *French Politics*, Vol. 15, pp. 128–145, [DOI:10.1057/s41253-016-0024-3].
- BANCO MUNDIAL, (2021), “Total greenhouse gas emissions (kt of CO₂ equivalent)”. *Banco mundial*. En línea:
<https://data.worldbank.org/indicador/EN.ATM.GHGT.KT.CE?end=2012&start=1970&view=chart>.
- BARRY, ROGER G. Y CARLETON, ANDREW M., (2001), *Synoptic and Dynamic Climatology*, Londres y Nueva York: Routledge.
- BELCHER, OLIVER; BIGGER, PATRICK; NEIMARK, BENJAMIN Y KENNELLY, CARA, (2020a), “Hidden carbon costs of the «everywhere war»: Logistics, geopolitical ecology, and the carbon boot-print of the US military”, *Transactions of the Institute of British Geographers*, Vol. 45, No.1, pp. 65-80. (Primera publicación: 19 de junio de 2019). [DOI:10.1111/tran.12319].
- BELCHER, OLIVER; BIGGER, PATRICK Y NEIMARK, BENJAMIN, (2020b), “The U.S. military is not sustainable”, *Science*, Vol. 367, No. 6481, pp. 989-990. [DOI:10.1126/science.abb1173].
- BERNER, ROBERT A., (2012), “Jacques-Joseph Ébelmen, the founder of earth system science”, *Comptes Rendus Geoscience*, Vol. 344, pp. 544–548, [DOI: 10.1016/j.crte.2012.08.001].
- BERTALANFFY, LUDWIG VON, (2009), *Teoría general de los sistemas* [1968], México: Fondo de Cultura Económica.
- BIRKHOFF, MATTHEW H., (2019), “Measuring Ice: How Swiss Peasants Discovered the Ice Age”, *The Germanic Review: Literature, Culture, Theory*, Vol. 94, No.3, pp. 194-208, [DOI: 10.1080/00168890.2019.1634510].
- BOADA, MARTÍ Y TOLEDO, VÍCTOR M., (2003), *El planeta, nuestro cuerpo. La ecología, el ambientalismo y la crisis de la modernidad*, México: Fondo de Cultura Económica.
- BORNHANN, LUTZ; HAUNSCHILD, ROBIN; MARX, WERNER, (2016), “Policy documents as sources for measuring societal impact: how often is climate change research mentioned in policy-related documents?”, *Scientometrics*, 109, pp. 1477-1495. [DOI: 10.1007/s11192-016-2115-y].
- BRONCANO, FERNANDO, (2013), “El conocimiento experto en la República”, en: LÓPEZ BELTRÁN, CARLOS Y VELASCO GÓMEZ, AMBROSIO (COORDS.), (2013), *Aproximaciones a la filosofía política de la ciencia* [Versión PDF], México: UNAM, pp. 35-87.
- BURROUGHS, WILLIAM JAMES, (2007), *Climate Change: A Multidisciplinary Approach*, Cambridge y Nueva York: Cambridge University Press.

- BUSH, VANNEVAR, (1960), *Science, The Endless Frontier* [1945], Washington D.C.: National Science Foundation.
- BUTLER, COLIN D., (2018), “Climate Change, Health and Existential Risks to Civilization: A Comprehensive Review (1989–2013)”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 15, 2266. [DOI: 10.3390/ijerph15102266].
- CALENDAR, GUY STEWART, (1938), “The Artificial Production of Carbon Dioxide and its Influence on Temperature”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 64, No. 275, pp. 223-240. [DOI: 10.1002/qj.49706427503].
- CAMPBELL-KELLY, MARTIN; ASPRAY, WILLIAM; ENSMENGER, NATHAN Y YOST, JEFFREY R., (2014), *Computer: A History of the Information Machine*, Boulder: Westview Press.
- CERVANTES DE GORTARI, JAIME, (1999), *Fundamentos de transferencia de calor*, México: UNAM/Fondo de Cultura Económica.
- CIAIS, P.; SABINE, C.; BALA, G.; *ET AL.*, (2013), “Carbon and Other Biogeochemical Cycles”, en: IPCC, (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge y Nueva York, Cambridge University Press, pp. 465-570.
- CLARA, (2018), *Los caminos que faltan para llegar a 1.5°C. El papel del sector del uso de la tierra en acciones climáticas ambiciosas. Executive Summary*, Sin lugar de edición: Climate Land Ambition and Rights Alliance.
- CMNUCC, (2015), *Conferencia de las Partes, 21º periodo de sesiones. Aprobación del Acuerdo de París*. París. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/109s.pdf>.
- CONDE ÁLVAREZ, CECILIA, (2018), *37º Entrenamiento para líderes de Climate Reality Project, 21-23 de marzo de 2018*. En línea: <https://www.atmosfera.unam.mx/37-entrenamiento-para-lideres-de-la-ong-climate-reality-project/>.
- CONNOR, STEVEN, (2019), *The madness of knowledge: On wisdom, ignorance and fantasies of knowing*, Londres: Reaktion Books.
- COOK, J.; NUCCITELLI, D.; GREEN, S. A.; *ET AL.*, (2013), “Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature”, *Environmental Research Letters*, Vol. 8, No. 2. [DOI:10.1088/1748-9326/8/2/024024].
- CRAWFORD, NETA C., (2019), *Pentagon fuel use, climate change, and the costs of war*. Rhode Island: Watson Institute/Brown University.
- CRUTZEN, PAUL J., (2002), “Geology of Mankind: The Anthropocene”, *Nature*, Vol. 415, No. 3, p. 23. [DOI: 10.1038/415023a].

- DERRIDA, JACQUES, (2013), *Márgenes de la filosofía* [1972], Madrid: Cátedra.
- DIAMOND, JARED, (2007), *Colapso. Por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen* [2005], México: Random House Mondadori.
- DOLMAN, HAN, (2019), *Biogeochemical Cycles and Climate*, Oxford: Oxford University Press.
- DUSEK, VAL, (2006), *Philosophy of Technology: An Introduction*, Massachussets, Oxford y Victoria (Australia): Blackwell.
- DUSSEL, ENRIQUE, (2011), *Filosofía de la liberación*, México: Fondo de Cultura Económica.
- EDGE, DAVID, (1995), “Reinventing the Wheel”, en: JASANOFF, SHEILA; *ET AL.*, (EDS.), (1995), *Handbook of Science and Technology Studies. Revised Edition*, California, Londres y Nueva Delhi: SAGE, pp. 3-23.
- EMILIANI, CESARE, (1955), “Pleistocene Temperatures”, *The Journal of Geology*, Vol. 63, No. 6, pp. 538-78. [DOI: 10.1086/626295].
- ESTLUND, DAVID M., (2008), *Democratic Authority: A Philosophical Framework*, Princeton y Oxford: Princeton University Press.
- FARMER, G. THOMAS, (2015), *Modern Climate Change Science: An Overview of Today’s Climate Change Science*, Cham, Suiza: Springer.
- Y COOK, JOHN, (2013), *Climate Change Science: A Modern Synthesis. Volume 1 - The Physical Climate*, Dordrecht: Springer.
- FERRATER MORA, JOSÉ, (1975), *Diccionario de filosofía. Tomo I (A-K)*, Buenos Aires: Sudamericana.
- FINE, GARY ALAN, (2007), *Authors of the Storm: Meteorologists and the Culture of Prediction*, Chicago y Londres: University of Chicago Press.
- FISHER, JAIME, (2010), *El hombre y la técnica. Hacia una filosofía política de la ciencia y la tecnología*, México: UNAM.
- FLEMING, JAMES RODGER, (2006), “James Croll in Context: The Encounter between Climate Dynamics and Geology in the Second Half of the Nineteenth Century”, *History of Meteorology*, Vol. 3, pp. 43-54.
- FOLLAND, CHRIS K.; BOUCHER, OLIVER; COLMAN, ANDREW Y PARKER, DAVID E., (2018), “Causes of irregularities in trends of global mean surface temperature since the late 19th century”, *Science Advances*, Vol. 4, No. 6, pp. 1-16, eaao5297, [DOI: 10.1126/sciadv.aao5297].

- FRAILE, GUILLERMO, (1966), *Historia de la filosofía. Tomo 3*, Madrid: La Editorial Católica (Colección B. A. C.).
- GADAMER, HANS-GEORG, (1999), *Verdad y Método I* [1975], Salamanca: Sígueme.
- GARDUÑO, RENÉ, (2018), *El veleidoso clima* [1998], México: Fondo de Cultura Económica.
- GIDDENS, ANTHONY, (2010), *La política del cambio climático* [2009], Madrid: Alianza.
- GIERE, RONALD N., (2008), “Naturalism”, en: PSILLOS, STATHIS Y CURD, MARTIN, (EDS.), (2008), *The Routledge Companion to Philosophy of Science*, Londres y Nueva York: Routledge, pp. 213-223.
- GILBERT, SCOTT F.; BOSCH, THOMAS C. G. Y LEDÓN-RETTIG, CRISTINA, (2015), “Eco-Evo-Devo: developmental symbiosis and developmental plasticity as evolutionary agents”, *Nature Reviews Genetics*, Vol. 16, pp.611-622, [DOI: 10.1038/nrg3982].
- GÓMEZ, RICARDO J., (2014), *La dimensión valorativa de las ciencias: hacia una filosofía política*, Bernal, Argentina: Universidad Nacional de Quilmes.
- GÓMEZ DE SILVA, GUIDO, (2003), *Breve diccionario etimológico de la lengua española* [1985], México: Fondo de Cultura Económica.
- GUTERRES, ANTÓNIO, (2018), *Secretary General’s remarks on Climate Change [as delivered]*, Nueva York, ONU. Disponible en: <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2018-09-10/secretary-generals-remarks-climate-change-delivered>
- HANSEN, MOGENS HERMAN, (2006), *Polis: An Introduction to the Ancient Greek City-State*, Oxford y Nueva York: Oxford University Press.
- HANSEN, JAMES; KHARECHA, PUSKER; SATO, MAKIKO; ET AL., (2013), “Assessing «Dangerous Climate Change»: Required Reduction of Carbon Emissions to Protect Young People, Future Generations and Nature”, *Plos One*, Vol. 8, No. 12, e81648 [DOI:10.1371/journal.pone.0081648].
- HANSLMEIER, ARNOLD, (2007), *The Sun and Spacce Weather*, Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- HARDIN, GARRETT, (1968), “The Tragedy of the Commons”, *Science*, Vol. 162, No. 3859, pp. 1243-1248, [DOI: 10.1126/science.162.3859.1243].
- HARE, F. KENNETH, (1979), “Climatic variation and variability: Empirical Evidence from Meteorological and Other Sources”, en: WMO, (1979), *Proceedings of the World Climate Conference: A Conference of Experts on Climate and Mankind. WMO No. 537*, Ginebra: World Meteorological Organization, pp. 51-87.

- HARRIS, DANIEL C., (2010), “Charles David Keeling and the Story of Atmospheric CO₂ Measurements”, *Analytical Chemistry*, Vol. 82, No. 19, American Chemical Society, pp. 7865-7870. [DOI:10.1021/act1001492].
- HASSELMANN, KLAUS, (1997), “Multi-pattern fingerprint method for detection and attribution of climate change”, *Climate Dynamics*, Vol. 13, No. 9, pp. 601-6011, [DOI: 10.1007/s003820050185].
- HESTMARK, GEIR, (2018), “Jens Esmark’s mountain glacier traverse 1823 -the key to his discovery of Ice Ages”, *Boreas*, Vol. 47, pp. 1–10, [DOI: 10.1111/bor.12260].
- HOBBS, THOMAS, (2000), *De Cive. Elementos filosóficos sobre el ciudadano [1642; 1651]*, Madrid: Alianza.
- HOWE, JOSHUA P., (2014), *Behind the Curve. Science and Politics of Global Warming*, Seattle y Londres: University of Washington Press.
- ., (ED.), (2017), *Making Climate Change History: Documents from Global Warming’s Past*, Seattle y Londres: Washington University Press.
- HULME, MIKE, (2020), “Is it too late (to stop dangerous climate change)? An editorial”, *WIREs Climate Change*, 11: e619. [DOI: 10.1002/wcc.619]
- HURTADO, GUILLERMO, (2007), “Vías de la ontología”, en: HURTADO, GUILLERMO Y NUDLER, OSCAR, (COMPS.), (2007), *El mobiliario del mundo. Ensayos de ontología y metafísica*, México: UNAM, pp. 33-46.
- IFA-GESTIS, (2021), “Carbon dioxide”, *Gefahrstoffinformationssystem-Stoffdatenbank*, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. En línea: <https://gestis.dguv.de/data?name=001120&lang=en>.
- IPBES, (2019), *El informe de la evaluación mundial sobre la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas. Resumen para los encargados de la formulación de políticas*, Bonn: IPBES secretariat.
- IPCC, (1996), *Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge y Nueva York: Cambridge University Press.
- ., (2007), *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, Ginebra, Suiza: IPCC.
- ., (2013), *Cambio Climático 2013. Bases Físicas. Resumen para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes, Parte de la contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, Ginebra, Suiza: IPCC.

- , (2014), *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, Ginebra, Suiza: IPCC.
- , (2018), “Summary for Policymakers”, en: IPCC, (2018), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.*, In Press, pp. 3-26.
- JARDÓN BARBOLLA, LEV ORLANDO, (2016), «La tormenta en las ciencias y las ciencias ante la tormenta: es posible cambiar las relaciones de producción», *ConCiencias por la Humanidad*. En línea: <https://conciencias.org.mx/2016/12/29/dr-lev-jardon-barbolla-la-tormenta-en-las-ciencias-y-las-ciencias-ante-la-tormenta-es-posible-cambiar-las-relaciones-de-produccion/>
- JOUZEL, JEAN, (2013), “A brief history of ice core science over the last 50 years”, *Climate of the past*, No. 9, Copernicus Publications, pp. 2525-2547. [DOI:10.5194/cp-9-2525-2013].
- KANT, IMMANUEL, (2011), *Crítica de la razón pura* [1787], México: Fondo de Cultura Económica/UNAM/UAM.
- KEBEDE, ABIY S.; NICHOLLS, ROBERT J. NICHOLLS; ALLANB, ANDREW; ET AL., (2018), “Applying the global RCP–SSP–SPA scenario framework at sub-national scale: A multi-scale and participatory scenario approach”, *Science of the Total Environment*, Vol. 635, pp. 659-672. [DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.368].
- KEELING, CHARLES DAVID, (1960), “The Concentration and Isotopic Abundances of Carbon Dioxide in the Atmosphere”, *Tellus*, Vol. XII, No. 2, pp. 200-203, [DOI:10.1111/j.2153-3490.1960.tb01300.x].
- KENDALL, HENRY W.; ET AL., (1992), *World Scientists Warning to Humanity*, Union of Concerned Scientists.
- KIRK, G. S.; RAVEN, J. E. Y SCHOFIELD, M., (2008), *Los filósofos presocráticos. Historia crítica con selección de textos*, Madrid: Gredos.
- KITCHER, PHILIP, (1993), *The Advancement of Science: Science without Legend, Objectivity without Illusions*, Londres y Nueva York: Oxford University Press.
- , (2001), *Science, Truth, and Democracy*, Oxford y Nueva York: Oxford University Press.
- KLEIN, NAOMI, (2016), *Esto lo cambia todo. El capitalismo contra el clima*, México: Paidós.
- , (2018), *La doctrina del Shock. El auge del capitalismo del desastre* [2007], México: Booket/Paidós.

- KREIMER, PABLO; VESSURI, HEBE; VELHO, LÉA Y ARRELLANO, ANTONIO, (2014), “Introducción”, en: KREIMER, PABLO; VESSURI, HEBE; VELHO, LÉA Y ARELLANO, ANTONIO, (COORDS.), (2014), *Perspectivas latinoamericanas en el estudio social de la ciencia, la tecnología y la sociedad*, México: Siglo XXI, pp. 7-25.
- KRIEGLER, ELMAR; EDMONDS, JAE; HALLEGATTE, STÉPHANE; *ET AL.*, (2014), “A new scenario framework for climate change research: the concept of shared climate policy assumptions”, *Climatic Change*, Vol. 122, pp. 401–414, [DOI: 10.1007/s10584-013-0971-5].
- KRÜGER, TOBIAS, (2013), *Discovering the Ice Ages: International Reception and Consequences for a Historical Understanding of Climate*, Leiden y Boston: Brill.
- LAFAYE, JACQUES, (2005), *Por amor al griego. La nación europea, señorío humanista (siglos XIV-XVII)*, México: Fondo de Cultura Económica.
- LAPO, ANDREI V., (2001), “Vladimir I. Vernadsky (1863-1945), founder of the biosphere concept”, *International Microbiology*, Vol. 4, pp. 47-49, [DOI: 10.1007/s101230100008].
- LATOUR, BRUNO, (2017), *Cara a cara con el planeta. Una nueva mirada sobre el cambio climático alejada de las posiciones apocalípticas* [2015], Buenos Aires: Siglo XXI.
- , (2019), *Dónde aterrizar. Cómo orientarse en política* [2017], Barcelona: Taurus.
- LIU, K. N., (2002), *An Introduction to Atmospheric Radiation*, San Diego, California y Londres: Academic Press.
- LISKA, ADAM J.; PERRIN, RICHARD K., (2010), “Securing Foreign Oil: A Case for Including Military Operations in the Climate Change Impact of Fuels”, *Environment*, Vol. 52, No. 4, pp. 9–22. [DOI: 10.1080/00139157.2010.493121].
- LIVERMAN, DIANA, (2007), “From Uncertain to Unequivocal. The IPCC Fourth Assessment Report on the Physical Science Basis of Climate Change”, *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, Vol. 49, No. 8, pp. 36-39, [DOI: 10.3200/ENVT.49.8.28-32].
- LOCKE, JOHN, (2005), *Ensayo sobre el entendimiento humano* [1690], México: Fondo de Cultura Económica.
- LOMBARDI, OLIMPIA Y PÉREZ RANSANZ, ANA ROSA, (2012), *Los múltiples mundos de la ciencia. Un realismo pluralista y su aplicación a la filosofía de la física*, México: Siglo XXI/UNAM.
- LÓPEZ BELTRÁN, CARLOS Y VELASCO GÓMEZ, AMBROSIO, (2013), “Introducción: las dimensiones políticas de la ciencia y la tecnología”, en: LÓPEZ BELTRÁN, CARLOS Y VELASCO GÓMEZ, AMBROSIO (COORDS.), (2013), *Aproximaciones a la filosofía política de la ciencia* [Versión Impresa], México: UNAM, pp. 7-34.

- LÓPEZ CEREZO, JOSÉ ANTONIO, (1998), “Ciencia, Tecnología y Sociedad: el estado de la cuestión en Europa y Estados Unidos”, *Revista Iberoamericana de Educación*, No. 18, pp. 41-68.
- MAHMOUD, MOHAMMED; LIU, YUQIONG; HARTMANN, HOLLY; *ET AL.*, (2009), “A formal framework for scenario development in support of environmental decision-making”, *Environmental Modelling and Software*, Vol. 24, pp. 798–808, [DOI: 10.1016/j.envsoft.2008.11.010].
- MAIA, VINÍCIUS A.; MIRANDA SANTOS, ALISSON B.; AGUIAR-CAMPOS, NATÁLIA DE; *ET AL.*, (2020), “The carbon sink of tropical seasonal forests in southeastern Brazil can be under threat”, *Science Advances*, Vol. 6, No. 51, eabd4548, pp. 1-12, [DOI: 10.1126/sciadv.abd4548].
- MARCOS, ALFREDO, (2017), “Filosofía política de la ciencia: El caso Popper”, *Ápeiron. Estudios de filosofía* (Monográfico “Una nueva mirada sobre Karl Popper”), No. 6, pp. 177-185.
- MARSHAK, STEPHEN, (2013), *Essentials of Geology*, Nueva York y Londres: W.W. Norton & Company.
- MATHEZ, EDMOND A. Y SMERDON, JASON E., (2018), *Climate Change: The Science of Global Warming and our Energy Future*, Nueva York: Columbia University Press.
- MCNEILL, JOHN R. Y ENGELKE, PETER, (2014), *The Great Acceleration. An Environmental History of the Anthropocene since 1945*, Cambridge, (MA) y Londres: Harvard University Press.
- MEADOWS, DONELLA H.; MEADOWS, DENNIS L.; RANDER, JØRGEN Y BEHRENS III, WILLIAM W., (1972), *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*, Nueva York: Universe Books.
- MEINSHAUSEN, MALTE; NICHOLLS, ZEBEDEE R. J.; LEWIS, JARED; *ET AL.*, (2020), “The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500”, *Geoscientific Model Development*, Vol. 13, pp. 3571–3605, [DOI: 10.5194/gmd-13-3571-2020].
- MOLINA, MARIO; SARUKHÁN, JOSÉ Y CARABIAS, JULIA, (2017), *El cambio climático. Causas, efectos y soluciones*, México; Fondo de Cultura Económica.
- MONEDERO, JUAN CARLOS, (2017), *Los nuevos disfraces del Leviatán. El Estado en la era de la hegemonía neoliberal*, Madrid: Akal.
- MONIN, ANDREI SERGEEVIC, (1986), *An Introduction to the Theory of Climate*, Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic.

- MONTESQUIEU, (1989), *The Spirit of the Laws*, Cambridge y Nueva York: Cambridge University Press.
- MOSER, PAUL K. Y YANDELL, DAVID, (2000), “Farewell to philosophical naturalism”, en: CRAIG, WILLIAM LANE Y MORELAND, J.P., (EDS.), (2000), *Naturalism. A critical analysis*, Londres y Nueva York: Routledge, pp. 3-23.
- MOULINES, CÉSAR ULISES, (2013), “Introducción”, en: MOULINES, CÉSAR ULISES, (ED.), (2013), *La ciencia: estructura y desarrollo. Enciclopedia Ibero Americana de Filosofía, Vol. 4.* [1993], Madrid: Trotta/Consejo Superior de Investigaciones Científicas, pp. 11-14.
- NIGHTINGALE, ANDREA JOSLYN; ERIKSEN, SIRI; TAYLOR, MARCUS; *ET AL.*, (2019), “Beyond Technical Fixes: climate solutions and the great derangement”, *Climate and Development*, pp.1-10, [DOI: 10.1080/17565529.2019.1624495].
- NOTZ, DIRZ, (2015), “How well must climate models agree with observation?”, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 373. [DOI:10.1098/rsta.2014.0164].
- OLIVÉ, LEÓN, (2014), “VIII. El conocimiento en la ciencia, la tecnología y la cultura”, en: OLIVÉ, LEÓN Y PÉREZ TAMAYO, RUY, (2014), *Temas de ética y epistemología de la ciencia. Diálogos entre un filósofo y un científico* [2011], México: Fondo de Cultura Económica, pp. 85-105.
- O’NEILL, BRIAN C.; CARTER, TIMOTHY R.; EBI, KRISTIE; *ET AL.*, (2020), “Achievements and needs for the climate change scenario framework”, *Nature Climate Change*, Vol. 10, pp. 1074-1084, [DOI: 10.1038/s41558-020-00952-0].
- ORESQUES, NAOMI, (2004), “Beyond the Ivory Tower. The Scientific Consensus on Climate Change”, *Science*, Vol. 306, p. 1686. [DOI:10.1126/science.1103618].
- Y CONWAY, ERIK M., (2018): *Mercaderes de la duda: Cómo un puñado de científicos ocultaron la verdad sobre el calentamiento global* [2011], Madrid: Capitán Swing.
- ORNELAS, JORGE, (2005), “La disolución kantiana del idealismo”, en: *Diánoia*, México, Vol. 50, No. 55, noviembre 2005, pp. 95-117. [DOI: 10.21898/dia.v50i55.354].
- PERELMAN, CHAÏM Y OLBRECHTS-TYTECA, LUCIE, (2006), *Tratado de la argumentación. La nueva retórica* [1989], Madrid: Gredos.
- PERNU, TUOMAS K., (2008), “Philosophy and the front line of science”, *The Quarterly Review of Biology*, Vol. 83, No. 1, The University of Chicago, pp. 29-36. [DOI: 10.1086/529560].
- PETERSON, THOMAS C.; CONNOLLEY, WILLIAM M. Y FLECK, JOHN, (2008), “The myth of the 1970s global cooling scientific consensus”, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 89, No. 9, pp. 1325-1338, [DOI:10.1175/2008BAMS2370.1].

- PLASS, GILBERT N., (1956), "Effect of Carbon Dioxide Variations on Climate", *American Journal of Physics*, Vol. 24, pp. 376-387. [DOI: 10.1119/1.1934233].
- POLANYI, MICHAEL, (2000), "The Republic of Science: Its Political and Economic Theory" [1962], *Minerva*, Vol. 38, No. 1, pp. 1-32.
- RAUD, REIN, (2006), "Philosophies versus Philosophy: In Defense of a Flexible Definition", *Philosophy East and West*, Vol. 56, No. 4, pp. 618-625, [DOI: 10.1353/pew.2006.0059].
- REVELLE, ROGER; SUESS HANS S., (1957), "Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO₂ during the Past Decades", *Tellus*, Vol. IX, pp. 18-27. [DOI: 10.1111/j.2153-3490.1957.tb01849.x].
- RIAHI, KEYWAN; VAN VUUREN, DETLEF P., VAN VUURENB; KRIEGLER, ELMAR; *ET AL.*, (2017), "The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview", *Global Environmental Change*, Vol. 42, pp. 153–168, [10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009].
- RIPPLE, WILLIAM J.; WOLF, CHRISTOPHER; NEWSOME, THOMAS M.; *ET AL.*, (2017), "World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice", *BioScience*, Vol. 67, No. 12, pp. 1026-1028. [DOI: 10.1093/biosci/bix125].
- ; *ET AL.*, (2020), "World Scientists' Warning of A Climate Emergency", *BioScience*, Vol. 70, No. 1, pp. 8-12. [DOI: 10.1093/biosci/biz088].
- RITCHIE, HANNAH Y ROSER, MAX, (2021), "Greenhouse gas emissions: Annual greenhouse gas emissions: how much do we emit each year?". *Our World in Data*. En línea: <https://ourworldindata.org/grapher/total-ghg-emissions?tab=chart>.
- ROCKSTRÖM, JOHAN; STEFFEN, WILL; NOONE, KEVIN; *ET AL.*, (2009), "A safe operating space for humanity", *Nature*, Vol. 461, pp. 472-475. [DOI: 10.1038/461472a].
- ROSENBERG, ALEXANDER, (2014), "Disenchanted Naturalism", en: BASHOUR, BANA Y MULLER, HANS D., (EDS.), (2014), *Contemporary philosophical naturalism and its implications*, Londres y Nueva York: Routledge, pp. 17-36.
- ROUSE, JOSEPH, (1987), *Knowledge and Power: Toward a Political Philosophy of Science*, Ithaca, Nueva York y Londres: Cornell University Press.
- , (2002), *How Scientific Practices Matter: Reclaiming Philosophical Naturalism*, Chicago y Londres: University of Chicago Press.
- ROUTLEDGE (ED.), (2000), *Concise Routledge Encyclopedia of Philosophy*, Londres y Nueva York: Routledge.

- RUDDIMAN, WILLIAM F., (2003), “The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago”, *Climatic Change*, No. 61, Kluwer Academic, pp. 261-263. [DOI: 10.1023/B:CLIM.0000004577.17928.fa].
- , (2006), “Orbital changes and climate”, *Quaternary Science Review*, No. 25, Elsevier, pp. 3092-3112. [DOI: 10.1016/j.quascirev.20006.09.001].
- RUSSELL, BERTRAND, (2001), *The Problems of Philosophy* [1912], Oxford y Nueva York: Oxford University Press.
- SAGAN, CARL, (1983), “Nuclear War and Climatic Catastrophe: Some Policy Implications”, *Foreign Affairs*, Vol. 62, No. 2, pp. 257-292. [DOI: 10.2307/20041818].
- SALTZMAN, BARRY, (2002), *Dynamical Paleoclimatology: Generalized Theory of Global Climate Change*, San Diego, California y Londres: Academic Press.
- SANTER, BENJAMIN D.; BONFILS, CÉLINE J. W.; FU, QIANG; *ET AL.*, (2019), “Celebrating the anniversary of three key events in climate change science”, *Nature Climate Change*, Vol. 9, pp. 180-182. [DOI: 10.1038/s41558-019-0424-x].
- SANTOS, BOAVENTURA DE SOUSA, (2010), *Refundación del Estado en América Latina. Perspectivas desde una epistemología del Sur*, Lima: Instituto Internacional de Derecho y Sociedad/Programa Democracia y Transformación Global.
- SCHIFTER, ISAAC Y GONZÁLEZ-MACÍAS, CARMEN, (2015), *La Tierra tiene fiebre* [2005], México: Fondo de Cultura Económica.
- SCHMITT, CARL, (2004a), “El concepto de lo político” [1939], en: AGUILAR, HÉCTOR ORESTES, (2004), *Carl Schmitt, teólogo de la política*, México: Fondo de Cultura Económica, pp. 167-223.
- , (2004b), “Teología política I. Cuatro capítulos sobre la teoría de la soberanía” [1934], en: AGUILAR, HÉCTOR ORESTES, (2004), *Carl Schmitt, teólogo de la política*, México: Fondo de Cultura Económica, pp. 19-62.
- SCHOPENHAUER, ARTUR, (2010), *Sobre la libertad de la voluntad* [1836], Madrid: Alianza.
- SHAPIN, STEVEN, (1992), “Discipline and Bounding: The History and Sociology of Science as Seen through the Externalism-Internalism Debate”, *History of Science*, No. 30, pp. 333-369. [DOI: 10.1177/007327539203000401].
- SHAPIRO, BARBARA J., (2000), *A Culture of Fact: England, 1550-1720*, Ithaca, Nueva York y Londres: Cornell University Press.
- SHIKAZONO, NAOTATSU, (2015), *Environmental and Resources Geochemistry of Earth System: Mass Transfer Mechanism, Geochemical Cycle and the Influence of Human Activity*, Tokyo: Springer.

- SISMONDO, SERGIO, (2008), “Science and Technology Studies and an Engaged Program”, en: HACKETT, EDUARD J.; *ET AL.*, (EDS.), (2008), *The Handbook of Science and Technology Studies*, Cambridge, Massachussets y Londres: MIT Press, pp. 13-31.
- SMITH, BARRY, (2007), “Ontología”, en: HURTADO, GUILLERMO Y NUDLER, OSCAR, (COMPS.), (2007), *El mobiliario del mundo. Ensayos de ontología y metafísica*, México: UNAM, pp. 47-71.
- SMITH, STEVEN B., (2003), *Hegel y el liberalismo político* [1989], México: Ediciones Coyoacán.
- SNOW, CHARLES PERCY, (1959), “Las dos culturas I. La Conferencia Rede”, en: SNOW, CHARLES PERCY, (2000), *Las dos culturas*, Buenos Aires: Nueva Visión, pp.73-116.
- , (1963), “Las dos culturas II. Una segunda mirada”, en: SNOW, CHARLES PERCY, (2000), *Las dos culturas*, Buenos Aires: Nueva Visión, pp.117-158.
- SOLOMON, ROBERT C. Y HIGGINS, KATHLEEN M., (2010), *The Big Questions: A Short Introduction to Philosophy*, Belmont, California: Wadsworth/Cengage Learning.
- SPRATT, DAVID Y DUNLOP, IAN, (2019), *Existential climate-related security risk: A scenario approach*, Melbourne, Australia: Breakthrough/National Center for Climate Restoration.
- STAMENKOVIC, PHILIPPE, (2020), “The contradictions and dangers of Bruno Latour's conception of climate science”, *Disputatio. Philosophical Research Bulletin*, Vol. 9, No. 13, pp. 1-34.
- STEFFEN, WILL; ROCKSTRÖM, JOHAN; RICHARDSON, KATHERINE; *et al.*, (2018), “Trajectories of the Earth System in the Anthropocene”, en: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Harvard University, Cambridge, MA. [DOI:10.1073/pnas.1810141115]
- STEWART, IAN, (2015), *17 ecuaciones que cambiaron el mundo* [2012], México: Crítica.
- THOMAS, CHRIS D.; CAMERON, ALISON; GREEN, RHYS E.; *ET AL.*, (2004), “Extinction risk from climate change”, *Nature*, Vol. 427, pp. 145-148. [DOI: 10.1038/nature02121].
- TOULMIN, STEPHEN, (2001), *Cosmópolis. El trasfondo de la Modernidad* [1990], Barcelona: Península.
- TURNER, STEPHEN, (2013), “La filosofía política de la ciencia: una perspectiva histórica”, en: LÓPEZ BELTRÁN, CARLOS Y VELASCO GÓMEZ, AMBROSIO (COORDS.), (2013), *Aproximaciones a la filosofía política de la ciencia* [Versión Impresa], México: UNAM, pp. 83-107.
- UNEP, (2013), *The Emissions Gap Report 2013*, Nairobi, Kenia: UNEP.
- , (2015), *The Emissions Gap Report 2015*, Nairobi, Kenia: UNEP.

- , (2016), *The Emissions Gap Report 2016*, Nairobi, Kenia: UNEP.
- , (2017), *The Emissions Gap Report 2017*, Nairobi, Kenia: UNEP.
- , (2018), *The Emissions Gap Report 2018*, Nairobi, Kenia: UNEP.
- , (2019), *The Emissions Gap Report 2019*, Nairobi, Kenia: UNEP.
- , (2020), *The Emissions Gap Report 2020*, Nairobi, Kenia: UNEP.
- U. S. CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY, (1974), *A Study of Climatological Research as It Pertains to Intelligence Problems*, Washington D. C.: U.S. Government Printing Office. En línea: https://www.governmentattic.org/18docs/CIAclimateResearchIntellProbs_1974.pdf
- VACCAREZZA, LEONARDO SILVIO, (1998), “Ciencia, Tecnología y Sociedad: el estado de la cuestión en América Latina”, *Revista Iberoamericana de Educación*, No. 18, pp. 13-40.
- VALVERDE, KARLA Y CRUZ, MARÍA LUISA, (2013), “Diseño y organización institucional del cambio climático en México”, en: CASTAÑEDA, FERNANDO; VALVERDE, KARLA Y CRUZ, MARÍA LUISA, (2013), *Dinámicas políticas, sociales, económicas y culturales frente al cambio climático*, México: UNAM/Colofón, pp.143-161.
- VAN VUUREN, DETLEF P.; EDMONDS, JAE; KAINUMA, MIKIKO; ET AL., (2011), “The representative concentration pathways: an overview”, *Climatic Change*, Vol. 109, pp, 5–31, [DOI: 10.1007/s10584-011-0148-z].
- VELASCO GÓMEZ, AMBROSIO, (2014), *Aspectos epistemológicos, hermenéuticos y políticos de la diversidad cultural*, México: UNAM.
- WALSH, JOHN E.; BALLINGER, THOMAS J.; EUSKIRCHEN, EUGÉNIE S.; ET AL., (2020), “Extreme weather and climate events in northern areas: A review”, *Earth-Science Reviews*, Vol. 209, 103324, [DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103324].
- WARNER, JEROEN; BOAS, INGRID, (2019), “Securitization of climate change: How invoking global dangers for instrumental ends can backfire”, *EPC: Politics and Space*, Vol. 37, No. 8, pp. 1471-1488. [DOI: 10.1177/2399654419834018].
- WEART, SPENCER R., (2003), *The Discovery of Global Warming*, Cambridge, (MA) y Londres: Harvard University Press.
- WEST, JOHN B., (2014): “Joseph Black, carbon dioxide, latent heat, and the beginnings of the discovery of the respiratory gases”, *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*, Vol. 306, No. 12, American Physiology Society, pp. L1063-L1063. [DOI:10.1152/ajplung.00020.2014].
- WILSON, ANDREW JORDAN Y ORLOVE, BEN, (2019), *What do we mean when we say climate change is urgent? Center for Research on Environmental Decisions. Working Paper 1*, Nueva York: Center for Research on Environmental Decisions, Columbia University.

WMO, (2020), *State of the Global Climate 2020. Provisional report*, Ginebra: World Meteorological Organization.

WRIGLEY, EDWARD ANTHONY, (2010), *Energy and The English Industrial Revolution*, Cambridge (UK): Cambridge University Press.

ZÚÑIGA LÓPEZ, IGNACIO Y CRESPO DEL ARCO, EMILIA, (2010), *Meteorología y climatología*, España (sic): UNED.



UNAM
POSGRADO
Filosofía de la ciencia

