ediciones
ALFAR

ediciones
ALFAR

EL CAMBIO CLIMÁTICO, UNA AMENAZA GLOBAL



ediciones
ALFAR

Antoine O. Pallmall

EL CAMBIO CLIMÁTICO, UNA AMENAZA GLOBAL

ediciones ALFAR

ediciones ALFAR

Colección: Alfar Universidad, 234
Serie Historia y Política

Primera edición: julio de 2021

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO [Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org] si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.



© Antoine O. Pallmall
© Ediciones Alfar S. A.
Pol. Ind. Store. Calle Destornillador, 3.6. 41008 Sevilla
www.edicionesalfar.es/alfar@edicionesalfar.es
ISBN: 978-84-7898-900-3
Dep. Leg.: SE 1108-2021
Imprime: ServicePoint
Impreso en España-Printed in Spain

Pidamos a Dios para que la humanidad no sucumba por el cambio climático



ediciones
ALFAR

CONTENIDO

Prefacio 15

1. Historia de la ciencia del cambio climático 21
   Introducción 21
   Cambios regionales, desde la Antigüedad hasta el siglo xix 21
   Cambios del paleoclima y teorías de sus causas en el siglo xix 22
   Los primeros cálculos del cambio climático inducido por el hombre (1896) 25
   Los paleoclimas y las manchas solares, inicio de los años 1900 a 1950 26
   La preocupación crece: 1950-1960 28
   Los científicos predicen cada vez más el calentamiento: años 70 29
   Comienza a lograrse un consenso: 1980-1988 32
   Periodo moderno: desde 1988 hasta el presente 34

2. Cambio climático 41
   Introducción 41
   Cambios climáticos en el pasado (paleoclimatología) 43
   Causas de los cambios climáticos 54
   El cambio climático, origen y consecuencias 67

3. El cambio climático actual 75
   Introducción 75
   Las temperaturas 76
   Fusión de grandes masas de hielo 79
   La Antártida 80
   Groenlandia 82
   El océano Glacial Ártico 83
   Glaciares no polares 84
   Subida del nivel del mar 85
   Océanos 88
   Cambios biológicos 91

ediciones ALFAR

Impacto en los pueblos indígenas 92
Proyecciones para el 2100 92
Postura escéptica 98
Conclusión 106

4. Cambio climático: lo que está en juego 109
La ciencia: ¿Qué tan seguro estamos del fenómeno de cambio climático? ¿Qué novedades hay? 109
Impactos globales y locales: más allá de los osos polares 118
La viabilidad tecnológica económica: cómo reducir las emisiones sin quebrar la economía y cómo adaptarse al calentamiento global 126
La viabilidad política: el acuerdo político global y los debates y los actores en las nuevas negociaciones 139
La lucha para detener el calentamiento global está en marcha 156
A modo de conclusión. 160
Cronología del conocimiento de una amenaza global 162

5. Calentamiento global, efectos observados y esperados 165
Introducción 165
Modelos climáticos 177
Efectos del calentamiento global 180
Posibles respuestas al cambio climático 201
Discurso sobre el calentamiento global 202

6. Adaptación al calentamiento global 207
Introducción 207
Efectos del cambio climático 208
La necesidad de adaptación 212
Conceptualizando la adaptación 215
Criterios para la evaluación de las respuestas 218
Costos de adaptación al cambio climático 219
Mecanismos de adaptación 220
Métodos de adaptación 221
Financiación para la adaptación 231
Las medidas de adaptación por países 232

ediciones ALFAR

7. Políticas y controversias sobre el calentamiento global 235
Introducción 235
Desafío ambiental no tradicional 238
Gobernancia 245
Los intereses especiales y grupos de presión de las partes interesadas no nacionales 248
La interacción de la ciencia del clima y la política actual 250
Historia de la política del calentamiento global 251
Controversia sobre el calentamiento global 253
Opinión científica sobre el cambio climático 257

8. Economía del calentamiento global 269
Introducción 269
Ciencia del cambio climático 271
Escenario de emisiones 272
Tendencias y proyecciones 275
Análisis del costo-beneficio y riesgo 278
Seguro internacional 283
Impactos y su distribución 284
Adaptación y vulnerabilidad 286
Mitigación del cambio climático 291
Adaptación y mitigación 294
Informes importantes considerando aspectos económicos del cambio climático 301

9. Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura 303
Introducción 303
Conclusiones del Grupo de Expertos sobre las consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura (Roma, 7-9 de abril de 2008) 305
Repercusiones físicas y ecológicas del cambio climático en la pesca de captura marina y continental y en la acuicultura 313
El cambio climático y la pesca de captura: repercusiones potenciales, adaptación y mitigación 317

ediciones ALFAR

El cambio climático y la acuicultura: repercusiones potenciales, adaptación y mitigación 319
Conclusiones 322

10. Las consecuencias del cambio climático en el Magreb 333
Introducción 333
Características físicas de la región y aspectos poblacionales 337
Cambio climático en el Magreb: cambios observados y tendencias futuras 339
El estado de los recursos hídricos en el Magreb 342
Impactos del cambio climático 344
Costes de adaptación 350
Conclusiones 353

11. Cambio climático y agricultura 355
Introducción 355
Impacto del cambio climático en la agricultura 356
Impacto de la agricultura y la ganadería en el cambio climático 368

12. Cambio climático y turismo 371
Introducción 371
La nueva situación del turismo en la era del cambio climático 371
Repercusiones y adaptación en los destinos turísticos 376
Consecuencias del cambio climático en las pautas de la demanda turística 384
Las emisiones generadas por el turismo: situación actual y tendencias 386
Políticas y medidas de mitigación 389
El futuro de la adaptación y mitigación en el sector del turismo 394

ediciones ALFAR

13. El cambio climático y sus consecuencias potenciales para la salud humana 397
Introducción 397
Cambio climático: posibles tendencias en el siglo xxi 398
Posible efecto del cambio climático sobre la salud del hombre 400
Conclusiones 407

14. El cambio climático y sus posibles repercusiones para la seguridad 411
Resumen 411
Introducción 412
Vías que vinculan el cambio climático con la seguridad 415
Amenazas para el bienestar humano 419
Ejemplos de posibles efectos del cambio climático 421
Amenazas para el desarrollo económico 430
Amenazas derivadas de una respuesta no coordinada 432
Amenaza de pérdida de territorio y apatridia 440
Amenazas para la cooperación internacional en materia de ordenación de recursos compartidos 442
Prevención de nuevas amenazas y medidas de respuesta 444
El camino a seguir 450

15. La economía del cambio climático 455
Sinopsis Informe Stern 455
Resumen de las conclusiones 496

16. Impacto humano sobre el medioambiente 505
Introducción 505
Deforestación 505
Emisiones humanas 512
Detonaciones nucleares atmosféricas 519

ediciones ALFAR

17. Oscurecimiento global 525
Introducción 525
Causas y efectos 526
Posible uso como paliativo del calentamiento global 534
Reciente inversión del fenómeno 535

18. La contaminación ambiental 537
Introducción 537
La contaminación, un problema global 538
Diversas formas de contaminación 542
Agentes contaminantes 547
Efectos de la contaminación en la naturaleza 560
Combate contra la contaminación 566

19. Acuerdos y tratados internacionales para el control del cambio climático 569
Introducción 569
XV Conferencia de Copenhague sobre el Cambio Climático 570
Protocolo de Kyoto sobre el cambio climático 577
Protocolo de Montreal 581
Convención de Estocolmo 585
Convención LRTAP 585
Convenio OSPAR 586
XIX Conferencia de Varsovia sobre el Cambio Climático 587
XXI Conferencia de París sobre el cambio climático 590

Agradecimientos 595
Notas 599
Bibliografía 617

ediciones ALFAR

PREFACIO

Diariamente National Geographic y Acciona advierten, a través de revistas y medios de comunicación (TV), sobre el peligro que supone el cambio climático como amenaza global para todos los seres vivos de este planeta Tierra, insistiendo una y otra vez en que tenemos que hacer algo eficiente y rápido para abordar el problema del calentamiento global.

La historia del descubrimiento científico del cambio climático se inició a principios del siglo XIX cuando se sospechó por primera vez de las épocas glaciares y otros cambios naturales en el *paleoclima,* y se identificó el *efecto invernadero* natural. A finales del siglo XIX los científicos ya argumentaron que las emisiones humanas del efecto invernadero podían cambiar el *clima*, pero los cálculos fueron cuestionados. Muchas otras teorías del cambio climático estaban más avanzadas, involucrando fuerzas que iban desde el vulcanismo hasta la *variación solar.*

En los años 60 del siglo XX, el efecto de calentamiento atmosférico producido por el *dióxido de carbono* (CO_2) se hizo cada vez más convincente, aunque algunos científicos también apuntaron que las actividades humanas, en la forma de *aerosoles* atmosféricos (por ejemplo, la *contaminación*), podrían también tener un efecto de enfriamiento.

Durante los años 70, la opinión de los científicos estaba cada vez más a favor de los puntos de vista del calentamiento. Para los años 90, se llegó al consenso de que el efecto invernadero estuvo involucrado en la mayoría de los cambios climáticos y las emisiones humanas traían serios problemas de calentamiento global. Desde entonces la mayoría de los trabajos científicos han sido orientados a la producción de informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (IPCC por sus siglas en inglés).

ediciones ALFAR

A pesar de la gran cantidad de estudios realizados por el IPCC, hay un debate (principalmente mediático y solo en parte científico) en torno a la posibilidad de que el hombre esté influyendo más, menos o apenas nada en el clima de la Tierra, originado por la creciente politización del debate. Un ejemplo es el Informe de la minoría republicana del Senado de los Estados Unidos en enero de 2009 para la comisión de Medio Ambiente, que elaboró una lista con 650 científicos que disentían del origen antrópico de los cambios de temperatura de la Tierra.

En este libro, el autor explica la más vieja de las maneras que ha tenido el ser humano de cambiar su entorno: convertir bosques en campos (deforestación). Luego se presenta lo que surge con la revolución industrial y, finalmente, el más aterrador de los mecanismos, el de la guerra nuclear.

Las conferencias organizadas por las Naciones Unidas sobre el cambio climático representan un ejemplo claro de los objetivos de este organismo para reunir a todas las naciones de este planeta con el propósito de unir esfuerzos en la lucha contra el cambio climático por parte de los responsables políticos y organizaciones gubernamentales. Pues, en definitiva, de lo que se trata es de reducir al máximo y lo más pronto posible las emisiones de carbono.

Desde finales de la década de los 60, la contaminación y el deterioro medioambiental comenzaron a ser considerados como un problema político en varios países industrializados. Como consecuencia de la toma de conciencia y de la preocupación que se fue generando muchos países fueron introduciendo una legislación medioambiental, y sobre la década de los 80 se crearon agencias de protección medioambiental en distintos países, así como en organizaciones internacionales como la ONU.

Ya desde los primeros planteamientos que se realizaron sobre la necesidad de una acción internacional conjunta de protección del medioambiente, muchos países subdesarrollados manifestaron su preocupación porque las medidas de protección medioambiental podrían frenar el necesario crecimiento económico e industrial que precisaba su población. Se vio que la industrialización había resuelto las necesidades de la población de los países desarrollados y ahora estos podían

Ediciones AHAR

permitirse expresar su preocupación medioambiental, mientras que los subdesarrollados no podían hacerlo todavía. Así, la introducción de legislaciones de protección medioambiental en algunos países desarrollados a principios de los 70 representó una cierta ventaja para algunos países subdesarrollados, pues las nuevas plantas industriales de sustancias químicas se establecieron en esos países subdesarrollados que tenían una legislación más permisiva que suponía un menor gasto en equipamiento para controlar la contaminación.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC) viene organizando conferencias anuales desde 1995 con la meta de preparar futuros objetivos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Así, por ejemplo, en la Conferencia de Copenhague (2009) el objetivo final pretendido (a largo plazo) era la reducción mundial de las emisiones de CO_2 en al menos un 50% en 2050 respecto a 1990 y para conseguirlo los países debían marcarse objetivos intermedios. Así, los países industrializados deberían reducir sus emisiones de GEI entre un 25% y un 40% respecto a los niveles de 1990 en el año 2020 y deberían alcanzar una reducción de entre el 80% y el 95% para 2050.

Esta cumbre de Copenhague fue calificada de «fracaso» por numerosos gobiernos participantes, así como por los colectivos ecologistas, ya que no se alcanzaron acuerdos vinculantes.

Otra de las cumbres importantes fue el Protocolo de Kyoto (1997) sobre el cambio climático organizado por la CMNUCC y cuyo objetivo era un acuerdo internacional de reducción de las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), y los otros tres son gases industriales fluorados.

El objetivo principal era disminuir el cambio climático antropogénico cuya base es el incremento forzado del efecto invernadero. Según las cifras de la ONU, se prevé que la temperatura media de la superficie del planeta aumente entre 1,4 y 5,8ºC de aquí a 2100, a pesar de que los inviernos son más fríos y violentos. Esto se conoce como calentamiento global. «Estos cambios repercutirán gravemente en el ecosistema y en nuestras economías», señala la Comisión Europea sobre Kyoto.

ediciones AUAR

Una cuestión a tener en cuenta con respecto a los compromisos en la reducción de las emisiones de GEI es que la energía nuclear queda excluida de los mecanismos financieros de intercambio de tecnología y emisiones asociados al Protocolo de Kyoto, pero es una de las formas para reducir las emisiones de GEI en cada país. Así, el IPCC, en su cuarto informe, recomienda la energía nuclear como una de las tecnologías clave para la mitigación del calentamiento global.

En las negociaciones que se llevaron a cabo en la XIX Conferencia de Varsovia sobre el cambio climático COP19 (2013) la meta principal era la de reducir las emisiones de GEI para limitar el aumento de la temperatura a 2ºC arriba de los niveles actuales. De acuerdo con la secretaria ejecutiva de la CMNUCC, Christina Figueres,

> Las emisiones globales de GEI necesitan llegar a su punto más alto durante la actual década, y llegar a cero emisiones netas para la segunda parte de este siglo… Los gobiernos nacionales necesitan actuar para minimizar los impactos hacia sus poblaciones y asegurar el desarrollo sustentable por generaciones. El sector privado necesita actuar para minimizar el riesgo climático y tomar la oportunidad. Y el proceso internacional debe comenzar a construir los cimientos para un ambicioso acuerdo universal de cambio climático en el 2015.

En la 21ª Conferencia de las Partes sobre el cambio climático , COP21 celebrada en París (2015), el objetivo de la conferencia era lograr, por primera vez en más de 20 años de negociaciones de la ONU, un acuerdo vinculante y universal sobre el clima, de todas las naciones del mundo.

Los 195 países participantes en la Conferencia de París lograron por consenso un pacto global, el Acuerdo de París, para reducir las emisiones como parte del método para la reducción de GEI. En el documento de 12 páginas los países miembros acordaron reducir sus emisiones de carbono «lo antes posible» y hacer todo lo posible para mantener el calentamiento global «muy por debajo de los 2ºC».

El Acuerdo no será vinculante para sus Estados miembros hasta que 55 países que produzcan más del 55% de los GEI del mundo hayan ratificado el Acuerdo. Hay dudas sobre su ratificación por algunos paí-

ses relevantes, como los EE. UU., con su Congreso dominado por los republicanos que hasta este momento no están muy convencidos en colaborar para combatir seriamente el cambio climático.

A pesar de todas las conferencias celebradas por las Naciones Unidas aún no se ha llegado hasta hoy a un acuerdo universal vinculante entre los 192 países que componen dicha organización sobre una reducción rápida, formal y eficiente de las emisiones de gases invernaderos para reducir la contaminación galopante que está sufriendo la humanidad.

Son las dos grandes potencias industriales, China y Estados Unidos, las que no se ponen de acuerdo para abordar el problema de emisiones con seriedad y entusiasmo, pues la una desconfía de la otra, aunque, si bien es verdad, han firmado un pacto como responsables para empezar a eliminar centrales eléctricas alimentadas con carbón, el combustible que más contaminación proyecta a la atmósfera. Estados Unidos por sí solo es el mayor contaminante del planeta Tierra con un porcentaje del 25% del total y China e India suman, entre ambas, también el 25%, lo que significa que son estas tres potencias industriales las que más esfuerzo han de hacer para reducir a un ritmo más rápido la contaminación medioambiental por ser las potencias que más carbón consumen para sus industrias. Y esto han de hacerlo ya, sin demora, pues el costo económico que supone mitigar las emisiones de carbono por estas tres potencias será muy inferior a una situación de inacción por parte de ellas.

Según nos informan las agencias de National Geographic y Acciona, cada año mueren 300 000 personas en el mundo a causa del cambio climático, dado que las emisiones se han convertido en una pandemia extendida a todo el Planeta, y ello, a pesar de los esfuerzos que están realizando grupos activistas y organizaciones ecologistas haciendo oír su voz en todo el planeta a fin de concienciar a la clase política de que ya no hay marcha atrás, de que nos enfrentamos a un futuro incierto.

Enero de 2017
Antoine O. Pallmall

ediciones ALFAR

ediciones
ALFAR

1. HISTORIA DE LA CIENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Introducción

La *historia del descubrimiento científico del cambio climático* se inició a principios del siglo XIX cuando se sospechó por primera vez de las épocas glaciares y otros cambios naturales en el *paleoclima,* y se identificó el *efecto invernadero* natural. A finales del siglo XIX, los científicos ya argumentaron que las emisiones humanas del efecto invernadero podían cambiar el *clima,* pero los cálculos fueron cuestionados. Muchas otras teorías del cambio climático estaban más avanzadas, involucrando fuerzas que iban desde el vulcanismo hasta la *variación solar.*

En los años 60 del siglo XX, el efecto de calentamiento atmosférico producido por el *dióxido de carbono* (CO_2) se hizo cada vez más convincente, aunque algunos científicos también apuntaron que las actividades humanas, en la forma de *aerosoles* atmosféricos (por ejemplo, la *contaminación*), podrían también tener un efecto de enfriamiento.

Durante los años 70, la opinión de los científicos estaba cada vez más a favor de los puntos de vista del calentamiento. Para los años 90, como resultado de las mejoras de la fidelidad de los *modelos informáticos* y del trabajo observacional que confirma la *teoría de Milankovitch* de las épocas glaciares, se llegó al consenso de que el efecto invernadero estuvo involucrado en la mayoría de los cambios climáticos y las emisiones humanas traían serios problemas de calentamiento global. Desde entonces, la mayoría de los trabajos científicos han sido orientados a la producción de informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (IPCC).

Cambios regionales, desde la Antigüedad hasta el siglo XIX

Desde tiempos antiguos, la gente sospechaba que el clima de una región podría cambiar a lo largo del curso de los siglos. Por ejemplo, Teo-

ediciones ALFAR

frasto, un pupilo de Aristóteles, dijo que el desagüe de los pantanos había hecho a una localidad en particular más susceptible a la congelación y especuló que los suelos se hacían más calientes cuando la deforestación de los bosques los exponía a la luz solar. Los académicos del Renacimiento y de épocas más recientes vieron que la deforestación, la irrigación y el pasto habían alterado los suelos alrededor del Mediterráneo desde tiempos antiguos. Ellos pensaron que era verosímil que estas intervenciones humanas hayan afectado al clima local.

El cambio más llamativo vino en los siglos XVIII y XIX, manifestándose dentro de un solo periodo de vida: la conversión del este de Norteamérica de bosques a tierras de cultivo. Para los inicios del siglo XIX, muchos creyeron que la transformación estaba alterando el clima de las regiones —probablemente para mejor—. Cuando los granjeros tomaron las Grandes Llanuras les habían dicho que «la lluvia sigue al arado». No todos estuvieron de acuerdo. Algunos expertos reportaron que la deforestación causaba que la *escorrentía* se diera más rápido y causara inundaciones inútiles, pero que reducía la cantidad de lluvia en sí. Algunos profesores europeos, atentos a alguna prueba de que sus naciones eran más sabias que las otras, aclamaron que los orientales del Antiguo Cercano Oeste habían convertido descuidadamente sus una vez tierras exuberantes en desiertos empobrecidos.

Mientras tanto, agencias nacionales del clima habían comenzado a compilar masas de observaciones confiables de temperatura, precipitaciones y similares. Cuando las figuras fueron analizadas mostraron muchas subidas y bajadas, pero un cambio no constante a largo plazo. Para finales del siglo XIX, la opinión de los científicos había cambiado decisivamente en contra de cualquier creencia de influencia humana en el clima. Considerando los efectos regionales, pocos imaginaban que los seres humanos podrían afectar el clima del planeta en su conjunto.

Cambios del paleoclima y teorías de sus causas en el siglo XIX

Antes del siglo XVIII, los científicos no habían sospechado que los climas prehistóricos eran diferentes a los del periodo moderno. A finales del siglo XIX, los geólogos hallaron evidencias de una sucesión de *Escala temporal geológica* con cambios en el clima. Había varias teorías compi-

tiendo para explicar el origen de estos cambios y James Hutton, cuyas ideas de cambio cíclico por un largo periodo de tiempo fueron posteriormente apodadas *uniformismo,* estaba entre aquellos que hallaron signos de actividad glacial basada en lugares muy calientes para los *glaciares* en tiempos modernos.

En 1815, Jean-Pierre Perraudin describe por primera vez cómo los glaciares podrían ser responsables de las rocas gigantes vistas en los valles alpinos. Mientras excursionaba en el Val de Bagnes se dio cuenta de rocas gigantes de granito que fueron dispersadas alrededor del estrecho valle. Sabía que le tomaría una fuerza excepcional mover tales grandes rocas. También observó cómo los glaciares dejaban rayas en el suelo y concluyó que fue el hielo que había llevado las rocas hacia lo profundo de los valles.

Su idea fue recibida inicialmente con incredulidad. Jean de Charpentier escribió: «encuentro su hipótesis tan extraordinaria y aún así tan extravagante que considero que no vale la pena examinarla ni incluso considerarla». A pesar del rechazo inicial de Charpentier, Perraudin eventualmente convenció a Ignaz Venetz de que podría valer la pena estudiarla. Venetz convenció a Charpentier, quien en cambio convenció al científico influyente Louis Agassiz de que la teoría glaciar tenía mérito.

Agassiz desarrollo una teoría de lo que él llamó *Glaciación*, cuando los glaciares cubrieron Europa y una gran parte de Norteamérica. En 1837 Agassiz fue el primero en proponer científicamente que la Tierra había sido objeto de una glaciación pasada. William Buckland había guiado los intentos en Gran Bretaña de adaptar la teoría geológica del *catastrofismo* para tener en cuenta a las rocas erráticas y otro «diluvio» como reliquias del Diluvio Universal. A esto se opuso fuertemente la versión de Charles Lyell, del uniformismo de Hutton y fue gradualmente abandonada por Buckland y otros geólogos catastrofistas. Una salida de campo a los Alpes con Agassiz en octubre de 1838 convenció a Buckland de que los rasgos en Gran Bretaña habían sido causados por la glaciación y ambos, él y Lyell apoyaron fuertemente la teoría de la glaciación, la cual fue ampliamente aceptada en los años 1870.

En el mismo periodo general que los científicos sospecharon por primera vez el cambio climático y la glaciación, Joseph Fourier, en 1824,

ediciones ALBAR

encontró que la atmósfera de la Tierra mantenía al planeta más caliente de lo que sería en el caso de un vacío, e hizo los primeros cálculos del efecto del calentamiento. Fourier reconoció que la atmósfera transmitía ondas de *luz visible* de manera eficiente a la superficie de la Tierra. La Tierra luego absorbió la luz visible y emitió *radiación infrarroja* como respuesta, pero la atmósfera no transmitía la radiación infrarroja de manera eficiente, lo cual, por lo tanto, incremento la temperatura de la superficie. Él también cuestionó que las actividades humanas pudieran influenciar en el clima, aunque principalmente se enfocó en los cambios del uso del suelo. En 1827 el documento de Fourier expresó:

> La fundación y progreso de las sociedades humanas, la acción de las fuerzas naturales, pueden cambiar notablemente y en regiones vastas, el estado de la superficie, la distribución del agua y los grandes movimientos del aire. Tales efectos son capaces de hacer variar, en el curso de muchos siglos, el grado promedio del calor; debido a que las expresiones analíticas contienen coeficientes que se relacionan con el estado de la superficie y el cual influye en gran medida a la temperatura.

John Tyndall tomó un paso más allá del trabajo de Fourier en 1864 cuando investigó la absorción de la radiación infrarroja en diferentes gases. Encontró que el vapor de agua, *hidrocarburos* como el metano (CH^4) y el *dióxido de carbono* (CO_2) bloquean fuertemente la radiación. Algunos científicos sugirieron que la glaciación y otros grandes cambios del clima eran debido a los cambios en la cantidad de gases emitidos por el *vulcanismo.* Pero eso era una de las tantas causas posibles. Otra posibilidad notable era la *variación solar.* Los cambios en las *corrientes oceánicas* podrían explicar también muchos cambios climáticos. Por cambios a lo largo de millones de años, la elevación y descenso de los rangos de las montañas podrían modificar los patrones de los vientos y las corrientes oceánicas. O quizás el clima de un continente no ha cambiado en absoluto, pero se ha aumentado en más caliente o más frío debido al desplazamiento polar verdadero (el cambio del polo Norte hacia donde el ecuador ha estado o lo similar). Había docenas de teorías.

Por ejemplo, a mediados del siglo XIX, James Croll publicó los cálculos de cómo las fuerzas gravitacionales del sol, la luna y los planetas

edicionesALTAR

afectan sutilmente el movimiento y orientación de la Tierra. La inclinación del eje de la Tierra y la forma de su órbita alrededor del sol oscilan gradualmente en ciclos que duran decenas de miles de años. Durante algunos periodos el hemisferio norte obtendría ligeramente menos luz solar durante el invierno de lo que obtendría durante otros siglos. La nieve se acumularía, reflejando la luz del sol y conduciendo hacia una glaciación autosostenible. La mayoría de los científicos, sin embargo, hallaron las ideas de Croll y toda otra teoría del cambio climático poco convincentes.

Los primeros cálculos del cambio climático inducido por el hombre (1896)

A finales de la década de 1890, el científico americano Samuel Pierpont Langley había intentado determinar la temperatura de la superficie de la Luna midiendo la radiación de infrarrojo que sale de la Luna y llega a la Tierra. El ángulo de la Luna en el cielo cuando un científico tomó una medida determinó cuánto CO_2 y vapor de agua tenía que atravesar la radiación lunar para llegar a la superficie de la Tierra, dando como resultado medidas más débiles cuando la Luna estaba baja en el cielo. Este resultado fue poco sorprendente, dado que los científicos sabían acerca del *espectro de absorción* desde hace décadas.

Un científico sueco, Svante Arrhenius, utilizó la observación de Langley sobre la absorción aumentada de infrarrojo donde los rayos lunares pasan a través de la atmósfera a un ángulo bajo, encontrando más dióxido de carbono (CO_2), para estimular un efecto de enfriamiento atmosférico a partir de una disminución futura de CO_2. Él se dio cuenta de que la atmósfera más fría retendría menos vapor de agua (otro efecto invernadero) y calculó el efecto de enfriamiento adicional. También se dio cuenta de que el enfriamiento aumentaría la nieve y la cubierta de hielo en altas latitudes, haciendo que el planeta refleje más luz solar y así promover el enfriamiento, como James Croll había propuesto. En general, Svante Arrhenius calculó que cortando el CO_2 por la mitad sería suficiente para producir una glaciación. Él, además, calculó que una duplicación del CO_2 atmosférico daría un total de calentamiento de 5-6 grados Celsius.

ediciones ALFAR