

LAURA TUCKER y LOIS SHERWOOD

ENTENDER EL CAMBIO CLIMÁTICO

*Información y recursos
para el profesorado*

educación hoy estudios

narcea

Entender el cambio climático

Información y recursos para el profesorado

Laura Tucker
Lois Sherwood

NARCEA, S. A. DE EDICIONES
MADRID

Índice



PRÓLOGO. *David L. Evans, PhD*

AGRADECIMIENTOS. *Laura Tucker*

INTRODUCCIÓN. Indicaciones para impartir cada Tema o Unidad sobre el cambio climático
Enseñar del mejor modo para que los alumnos comprendan. Desarrollo o mapa conceptual de cada tema. Estructura de cada tema. Recomendaciones de seguridad para las actividades prácticas. Información previa o *Background* necesario para el profesorado. El «debate» sobre el cambio climático

TEMA 1. ¿Qué has oído sobre el cambio climático?

TEMA 2. Las fuentes del CO₂ en la atmósfera

TEMA 3. El efecto invernadero

TEMA 4. ¿Hechos o suposiciones? Evaluar los datos científicamente?

TEMA 5. Investigar los temas actuales sobre el cambio climático

TEMA 6. Conferencia sobre el cambio climático

TEMA 7. Retos del cambio climático

TEMA 8. Soluciones al cambio climático

TEMA 9. Proponer acciones para un futuro mejor

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SOBRE LAS AUTORAS

Prólogo



En el otoño de 2018, la Asociación Nacional de Profesores de Ciencias¹ (NSTA, por sus siglas en inglés) publicó un contundente posicionamiento en su sitio web sobre la enseñanza del cambio climático. A finales de ese año, el escritor del New York Times David Leonhardt² escribió: «Durante el 2018 ha habido noticias más impactantes y obvias que la del cambio climático. Pero, en mi opinión, ninguna más importante. De ahí mi elección para que sea la historia principal del año. Es la que probablemente más afectará a las vidas de las futuras generaciones».

De todas las áreas de la ciencia, la del clima puede ser la más importante de entender para todos los ciudadanos. Mientras que la ciencia del cambio climático es bien entendida por los científicos, todos nos veremos afectados por sus consecuencias y todo el mundo tiene interés en cómo vamos a responder.

Más allá de su importancia social, la ciencia del clima ocupa una posición pedagógica casi única como materia en sí misma multidisciplinar y práctica. Las observaciones históricas del tiempo y el clima tienen en cuenta todo, desde la física del equilibrio de la radiación entrante y saliente, pasando por la química de los gases que absorben la radiación infrarroja, hasta la biología de la fotosíntesis y la respiración aplicada a la tierra, a los océanos y a la

atmósfera de nuestro planeta. Además, el tema es accesible para todas las edades: el documento *A framework for K-12 science education* articula los parámetros de cada curso para estudiantes de 8 a 18 años (NRC 2012, p. 188)³.

Aunque muchas organizaciones y organismos han publicado materiales para ayudar a los educadores a enseñar la ciencia del clima, son pocos los libros que se centran en el papel que tiene la humanidad en ella. Laura Tucker y Lois Sherwood se han propuesto hacer precisamente eso, con una atención consciente a la enseñanza y al aprendizaje tridimensional al que se refiere el documento antes citado. Reconociendo que muchos profesores no han tenido una formación específica en ciencia del clima, las autoras proporcionan resúmenes útiles de los temas científicos subyacentes. Las secciones sobre el efecto invernadero, la evaluación científica de los datos y la realización de investigaciones sobre temas relacionados con el cambio climático son particularmente útiles para reconocer los aspectos multidisciplinarios de la ciencia del clima.

La respuesta al cambio climático no es en sí misma un tema científico. Tucker y Sherwood tienen muy claro que no hay debate sobre la ciencia del clima. Al considerar qué acciones tomar ante un sistema climático cambiante, pasamos de lo científico a lo social, económico o político, donde necesitamos que la ciencia informe nuestros argumentos y nuestras decisiones. La frontera entre la ciencia como medio para comprender el mundo natural y las consecuencias de esa comprensión a menudo está mal definida. El posicionamiento de la NSTA subraya el «lado de la ciencia» pero también reconoce las implicaciones para la sociedad.

Las autoras han hecho una contribución real sobre este tema al proporcionarnos una serie de sugerencias estructuradas que invitan a los estudiantes a usar la ciencia

que han aprendido para considerar los efectos de la actividad humana. Al hacer esta conexión, los estudiantes tienen la oportunidad de usar la ciencia para «incidir positivamente en la vida de las generaciones futuras».

DAVID L. EVANS

Director ejecutivo

Asociación Nacional de Profesores
de Ciencias (NSTA) de Estados Unidos

Agradecimientos



Mi agradecimiento infinito a Lois Sherwood, mi excepcional coautora, que ha aportado sus años de experiencia en las aulas de secundaria y su amplio conocimiento de los *Next Generation Science Standards* (NGSS)⁴ para llevar este libro a un alto nivel de excelencia y efectividad.

Este libro no hubiera sido posible sin haber pasado veinte años trabajando con los brillantes investigadores y con todo el personal de GEMS (Grandes Exploraciones en Matemáticas y Ciencias) en la Universidad de California, Lawrence Hall of Science de Berkeley. Sus años de experiencia y su aguda perspicacia en la creación de currículos efectivos y fáciles de usar para los profesores me han enseñado mucho. Ya estaban en la vanguardia de los planes de estudio sobre cambio climático con el libro *Global warming and the greenhouse effect*, escrito en 1990.

GEMS ha sido la inspiración básica de este libro. Los Temas 2 y 3 están tomados y adaptados de *Global warming and the greenhouse effect*, propiedad de The Regents, de la Universidad de California, y se usan aquí con su permiso. Otros temas se inspiran en parte en las actividades de la guía hecha por GEMS, pero las autoras los han revisado, actualizado y reescrito casi en su totalidad.

El Círculo del discurso científico del Tema 4 está inspirado en actividades similares de grupos de estudiantes del plan

de estudios *Seeds of Science/Roots of Reading* de GEMS, propiedad de The Regents, de la Universidad de California, y utilizado aquí contando también con su permiso.

Un agradecimiento especial al *Climate Reality Project*. Su personal, extraordinariamente preparado, lleva a cabo formaciones en todo el mundo y ofrece apoyo a más de 15 000 líderes de realidad climática, con edades comprendidas entre los 12 y los 86 años. Tuve el honor de que me invitaran a su sesión de formación de 2012, en San Francisco, que reunió a más de 1000 líderes de 59 países durante tres días de estudio, empoderamiento y esperanza. De allí salimos a todos los rincones del mundo para compartir la ciencia de la crisis climática y para proporcionar una visión de cómo podemos resolverla.

En particular, quiero agradecer a todos los maravillosos *agentes* de la lucha contra el cambio climático que amablemente aceptaron ser entrevistados para este libro y ayudaron a poner cara a quienes trabajan en primera línea tratando de buscar soluciones al cambio climático: James Balog, Dr. Robert Bindshadler, Dr. Shallin Busch, Kate Chadwick, Eliza Dawson, Dr. Ziv Hameiri, Dahr Jamail, Rayan Krishnan, Dra. Heidi Roop, Ewan Shortess.

Mi más profundo agradecimiento al excepcional personal de NSTA Press. A Claire Reinburg mi sincero agradecimiento por aceptar mi manuscrito y hacerlo avanzar. A mis estupendas editoras, Rachel Ledbetter y Andrea Silen, que me tienen asombrada por su capacidad para dar sentido a cada palabra, cada página y cada gráfico. Gracias por tejer juntas todo esto tan bellamente.

LAURA TUCKER

Indicaciones al profesorado para impartir cada Tema sobre el cambio climático



Enseñar del mejor modo, para que los alumnos comprendan

Este libro ha sido diseñado teniendo en cuenta el *ciclo de aprendizaje* (Atkin y Karplus 1962) y el *modelo de instrucción BSCS 5E*. Para llevar a los estudiantes a lo largo del continuo que va, de la toma de conciencia a la comprensión, es fundamental que el contenido desarrollado en este libro se siga con fidelidad. Lleva tiempo cubrir un tema tan complejo como el del cambio climático. Se recomienda que lo referente a cada Tema se vea una vez en los cursos que van de los 12 a los 18 años. Por supuesto, los estudiantes mayores tendrán una mayor capacidad para comprender algunas cuestiones, por eso se aplican diferentes estándares a la secundaria y al bachillerato.

Cada docente tendrá que decidir dónde encaja mejor cada tema, dentro del currículo y dentro de los objetivos de

su centro educativo para maximizar las oportunidades de aprendizaje y para que se pueda producir una comprensión profunda y sólida. Siempre se anima al profesorado a que personalice su plan de estudios; pero deben hacerlo con una visión amplia, asegurando que los componentes clave no se omitan por falta de tiempo. Se recomienda que los profesores sigan las pautas temporales sugeridas para que los temas complejos no se cambien y los estudiantes tengan tiempo suficiente para participar, procesar y reflexionar.

Desarrollo o mapa conceptual de cada Tema

Cada tema se ha estructurado estratégicamente para atraer el interés de los estudiantes⁵ y construir una base conceptual que no sobrecargue a los alumnos. Trata de proporcionarles el andamiaje, para que lleven a cabo su propia investigación y saquen sus propias conclusiones sobre el cambio climático. Los temas están vinculados y secuenciados de tal manera que los estudiantes construyan sobre conceptos que les van a permitir comprender mejor lo que viene después; se trata de un ejemplo de *aprendizaje constructivista*.

El *Tema 1* comienza con una actividad de trabajo en red. Es una de las maneras para hacer una breve introducción sobre los agentes de la lucha contra el cambio climático que van a encontrar en toda la unidad. Después compartirán «lo que han oído decir» sobre el cambio climático, y no lo que «saben», para permitir que la información fluya libremente sin restricciones, y para que el profesor comprenda cuáles son las percepciones erróneas de los estudiantes. Se trata de generar preguntas que sirvan de hilo conductor durante

toda la unidad y de que los estudiantes vayan descubriendo información objetiva contrastada por pruebas.

En el *Tema 2*, los estudiantes descubrirán algunas de las fuentes del CO₂ presentes en la atmósfera y compararán sus concentraciones relativas. El objetivo principal, además de tratarse de un experimento de laboratorio interesante, es el de mostrar a los estudiantes que los automóviles producen una cantidad considerable de CO₂. Esto prepara el escenario para que ellos comprendan el papel de la quema de combustibles fósiles en el calentamiento de nuestro planeta.

El *Tema 3* utiliza dos tipos de modelos para ayudar a los estudiantes a comprender el concepto clave del efecto invernadero y el papel que el CO₂ juega en él. Después, analizarán datos que muestran fuentes y cantidades de gases de efecto invernadero producidos en Estados Unidos y en todo el mundo.

La necesidad de evaluar la exactitud de la información, de manera oportuna y efectiva, se aborda en el *Tema 4*, que concluye con la consideración de por qué algunas personas pueden tener una serie de conceptos erróneos comunes. A lo largo de la Unidad se va justificando el énfasis que ponemos en la necesidad que tienen de respaldar siempre sus afirmaciones con pruebas.

Después de obtener una base sólida para realizar investigaciones, los estudiantes comienzan el *Tema 5*, formando grupos de investigación y seleccionando temas relacionados con el cambio climático. Los estudiantes de cada grupo investigarán el tema elegido para desarrollar una comprensión profunda de este. Los profesores también pueden hacer que los estudiantes desarrollen investigaciones personales independientes para profundizar en su tema.

A continuación, los grupos sintetizarán toda la información conseguida en su investigación en forma de

presentaciones que expondrán delante de sus compañeros en el *Tema 6*, en el ámbito de una simulada «Conferencia internacional sobre el cambio climático», imitando así el modo en que los científicos comparten sus hallazgos en la vida real.

El Tema 7 hace que los estudiantes reflexionen sobre los efectos del problema que han investigado. Por ejemplo, podrían estudiar cuáles son los efectos iniciales del aumento del nivel del mar para una ciudad costera. Después considerarán los efectos secundarios y también enumerarán los efectos humanos, ambientales y económicos; todo ello les dará una comprensión más amplia de los cambios pronosticados como resultado del calentamiento del planeta.

En el *Tema 8*, los estudiantes usarán este mismo modelo de efecto dominó para observar las medidas positivas que las agencias, las corporaciones e instituciones locales, estatales, nacionales e internacionales están tomando para resolver la crisis climática. Esto sienta las bases para el *Tema 9*, que reúne todo lo que han aprendido en la Unidad para dar cuenta de cómo van a introducir cambios en sus propias vidas y en la de sus barrios.

Estructura de cada Tema

Cada tema se construye de manera similar. Está organizado con la mayoría, si no todos, de los siguientes apartados (aunque no van siempre en el mismo orden):

- 1. Introducción:** Es una breve descripción del tema que sirve para que el profesorado tenga una visión de conjunto de lo que se pretende con cada una de las actividades propuestas.

- 2. Objetivos:** Son medidas claras para definir las habilidades y conocimientos que van a adquirir los estudiantes durante el tema.
- 3. Qué necesitas:** Son listas detalladas de materiales, divididas en función de lo que se necesita para la clase, lo que se necesita preparar para cada grupo de estudiantes, o lo que necesita cada uno de los estudiantes.
- 4. Preparación:** En este apartado se dan instrucciones sobre cómo prepararse antes y el día mismo de la sesión, incluidos los documentos o impresos necesarios para los estudiantes.
- 5. ¡Empieza!** Es la señal para que el profesor comience el tema después de leer la información preparatoria.
- 6. Revisar afirmaciones y preguntas sobre el cambio climático:** En el primer tema los estudiantes toman nota en sus cuadernos de lo que han oído decir sobre el cambio climático. También se ejercitan en una lluvia de ideas y escriben preguntas que tienen sobre el cambio climático. Al final de cada uno de los temas siguientes los estudiantes revisarán esas preguntas de sus cuadernos como una forma de medir su aprendizaje. Decidirán si alguna de las ideas enumeradas en sus cuadernos puede presentarse como una afirmación que sea exacta, inexacta o basada en pruebas. También podrán determinar si el conocimiento recién adquirido responde a alguna de esas preguntas o conduce a nuevas preguntas. Se pretende que sea un proceso dinámico en el que los estudiantes continuamente reflexionen y reevalúen su aprendizaje. Sirve como momento de reflexión para consolidar el conocimiento conceptual que los estudiantes obtienen en cada tema.
- 7. Posible ampliación del tema:** Se da la oportunidad de que los estudiantes profundicen en la cuestión

abordada o que desafíen a sus compañeros más avanzados.

- 8. Página extra:** Todos los materiales utilizados por los estudiantes (conjuntos de datos, rúbricas, hojas de trabajo, entrevistas con agentes contra el cambio climático, etc.) se pueden encontrar en la página web www.nsta.org/climatechange⁶. Esto permite que los datos se revisen con frecuencia, manteniéndolos actualizados. Almacenar los materiales *online* permite también que las copias que se hagan para repartir a los estudiantes sean de mayor calidad.
- 9. Entrevista a un agente de la lucha contra el cambio climático:** En cada tema, los estudiantes pueden leer, al menos una entrevista, con alguna persona que está trabajando en el problema del cambio climático. Los entrevistados, a los que se hace referencia como agentes contra el cambio climático, van desde estudiantes hasta científicos. A cada uno se le hacen las tres mismas preguntas:
 - a)** Describe tu trabajo como agente contra el cambio climático.
 - b)** Describe el camino recorrido para convertirte en un agente contra el cambio climático.
 - c)** ¿Qué crees que deberían saber los estudiantes sobre el cambio climático?
- 10. Background básico para profesores:** Esta sección contiene las bases científicas y las claves pedagógicas necesarias para la comprensión más profunda del contenido y del proceso de cada sesión. No es una información pensada para que la lean los estudiantes, sino para que sirva de orientación a aquellos profesores que no tengan experiencia en el tema.
- 11. Pistas para la evaluación:** Se ofrecen distintas modalidades de evaluación para ayudar al profesor a determinar el progreso y la profundidad de la

comprensión de los estudiantes. Los cuadernos de los estudiantes están pensados para usarse como herramientas de evaluación a lo largo de toda la unidad y como una evaluación final sobre el progreso de cada alumno.

12.Recursos: Se da información adicional para que alumnos y profesores cuenten con más materiales disponibles, tanto en el componente de investigación que atraviesa toda la unidad como en las oportunidades de enriquecimiento.

Nota: En prácticamente todos los temas, se incluye un amplio repertorio de páginas web disponibles, en las que se pueden complementar los contenidos. Deliberadamente, se han mantenido en la lengua original inglesa para asegurar la precisión de su contenido y para facilitar su consulta, adaptación y utilización.

Recomendaciones de seguridad para las actividades prácticas

El profesado debe prevenir posibles problemas de seguridad haciendo algunos controles (buena ventilación, existencia de lavabos para el lavado de ojos, etc.), revisando procedimientos administrativos o procedimientos operativos de seguridad y asegurándose de contar con el equipo de protección personal apropiado (gafas de seguridad contra salpicaduras de productos químicos con ventilación indirecta o gafas de seguridad, guantes de nitrilo resistentes a químicos, etc.). Pueden hacer que estas actividades sean más seguras para los estudiantes y para ellos mismos adoptando y haciendo cumplir las normas legales de

seguridad y las buenas prácticas de seguridad profesional en el aula de ciencias y en el laboratorio.

Nota: Antes de emprender cualquier actividad o investigación científica, los profesores deben hacer un análisis de peligros y una evaluación de riesgos, y así tomar ciertas medidas de seguridad para garantizar que la experiencia de aprendizaje sea más segura.

Recuerda que el equipo de protección personal debe usarse *antes, durante y después* de los experimentos, es decir, durante la preparación e instalación de los materiales necesarios, en el tiempo de la realización y también durante el desmontaje de la actividad.

Conviene ofrecer siempre formación en cuestiones de seguridad y hacer un uso adecuado de herramientas manuales, equipos de laboratorio y equipos de protección personal antes de que un estudiante realice las actividades prácticas. Es bueno hacer recordatorios de seguridad antes y durante cada actividad.

A lo largo del libro, hay muchas notas de seguridad para las actividades de clase o de laboratorio. Los profesores también deben revisar y seguir las políticas y protocolos locales utilizados dentro de su distrito escolar y/o escuela (por ejemplo, plan de higiene química, políticas de seguridad del ministerio de educación de su país, etc.).

La Asociación Nacional de Profesores de Ciencias (NSTA) ofrece procedimientos operativos estándar adicionales. Se puede consultar la página web (www.nsta.org/safety) que contiene formularios de reconocimiento de seguridad para los cursos de primaria, secundaria y bachillerato. Se debe exigir a los estudiantes que lean ese documento, o uno similar, bajo la dirección del profesor. Tanto los estudiantes como sus padres/tutores deben firmar el documento reconociendo los procedimientos que deben seguirse para

una experiencia de trabajo/aprendizaje que siempre sea segura en el laboratorio.

Las precauciones de seguridad de cada actividad se basan, en parte, en el uso de los materiales e instrucciones recomendados, las normas legales de seguridad y las buenas prácticas profesionales. La selección de materiales o procedimientos alternativos para estas actividades puede poner en peligro el nivel de seguridad y, por lo tanto, se hará bajo la responsabilidad de los usuarios.

Información previa o *Background* necesario para el profesorado

Conceptos necesarios

Es importante que tanto los alumnos como los profesores conozcan bien los siguientes conceptos antes de comenzar la unidad.

Para estudiantes

Se recomienda que los estudiantes tengan nociones básicas de los temas antes de comenzar esta unidad. De esta manera, podrán manejar los conceptos que les serán necesarios a medida que avancen en el tema:

- Fotosíntesis.
- La estructura y propiedades de la materia (átomos, moléculas, sólidos, líquidos, gases).
- El ciclo del carbono (los conceptos básicos de cómo el carbono se mueve a través de la tierra, el aire, el agua y los seres vivos por medio de la fotosíntesis, la respiración y la descomposición).

Para profesores

Carbono actual versus carbono retenido

Parte del debate sobre la cantidad de dióxido de carbono que hay en la atmósfera gira en torno a los argumentos de quienes justifican que el CO₂ es «natural» porque los organismos vivos lo exhalan al respirar. Por supuesto, todo el dióxido de carbono es natural, pero el nivel de CO₂ en nuestra atmósfera ha sido un factor determinante en nuestro clima durante más de mil millones de años. Los paleoclimatólogos han llegado a la conclusión de que los niveles de CO₂ eran cinco veces más altos cuando los dinosaurios vagaban por la Tierra de lo que son ahora. Los mares eran aproximadamente 30 metros más altos de lo que son ahora, y la mayor parte de la Tierra tenía un clima tropical. Sin embargo, es peligroso deducir que la existencia de un nivel de CO₂ tan alto en el pasado sea un proceso natural y, por lo tanto, que no es dañino. En esa época, la Tierra no tenía habitantes humanos y, mucho menos, nuestra población actual de más de 7 mil millones de personas, muchas de las cuales viven junto a costas que son particularmente vulnerables al aumento del nivel del mar causado por un planeta que se está calentando lentamente.

Durante los últimos 800 000 años, el nivel de CO₂ en nuestra atmósfera no ha aumentado por encima de las 300 partes por millón (ppm) y la media ha sido de 280 ppm. En 1850 la cantidad de CO₂ atmosférico era de 285 ppm. En 1910 cruzó la marca de las 300 ppm. A partir de este registro, en 2019 se sitúa en 412 ppm.

Durante esos 800 000 años, nuestro planeta ha hecho evolucionar los ecosistemas en los que vivimos en la actualidad, con una temperatura habitable en la mayoría de los lugares y una lluvia adecuada para que las plantas

puedan prosperar. Este nivel de CO₂ ha evitado que la energía térmica de nuestro planeta lleve a los sistemas climáticos a condiciones extremas. El CO₂ existente en este ciclo de carbono se considera el *carbono actual*, o la cantidad de carbono que ha habido durante este período de 800 000 años de equilibrio en nuestros ecosistemas.

Con la llegada de la Revolución Industrial a finales de 1800, los depósitos de petróleo que estaban *retenidos* (o enterrados) hace 540-565 millones de años se sacaron a la superficie de la Tierra y se quemaron, liberando en la atmósfera el CO₂ almacenado. Este CO₂ adicional ha causado que el efecto invernadero aumente en más de un 30 %, lo que está produciendo numerosas pruebas de que el planeta se calienta. Los estudiantes investigarán estas pruebas del calentamiento global en el Tema 5.

Historia del estudio del efecto invernadero y el cambio climático

Los primeros registros sobre el efecto invernadero se remontan a la década de 1820 en Francia, cuando **Jean Baptiste Joseph Fourier** (1768-1830) calculó que un objeto del tamaño de la Tierra no debería estar tan caliente como lo estaba, dada su distancia con respecto al sol. Llegó a la conclusión de que algo más debía de estar afectando a la temperatura de nuestro planeta. Formuló la hipótesis de que la luz que viene del sol era capaz de pasar a través de nuestra atmósfera, pero el calor radiante que viene de las superficies calentadas por el sol debía de estar siendo atrapado de alguna manera.

En la década de 1860, **John Tyndall** (1820-1893), un naturalista alpino y escalador, quedó fascinado por sus observaciones que apuntaban a que el norte de Europa estuvo cubierto por una capa de hielo en algún momento del pasado. Tyndall consideró diversas explicaciones

posibles, pero acabó quedándose con la idea de que podría haber variaciones en la composición de la atmósfera. Experimentó con gases que atrapan el calor, como el vapor de agua y el dióxido de carbono. A pesar de haber una cantidad tan pequeña de CO₂ en la atmósfera, pensó que, aun así, podía tener algún efecto.

En 1896, el científico sueco **Svante Arrhenius** (1859-1927) llegó a la conclusión de que si los niveles de CO₂ atmosférico se duplicaban hasta las 560 ppm (desde los niveles preindustriales de 280), entonces los niveles de temperatura de la superficie aumentarían varios grados. **Arrhenius** y su colega, **Arvid Högbom** (1857-1940), empezaron a analizar la cantidad de emisiones de dióxido de carbono emitidas por las fábricas y se sorprendieron al encontrar que las emisiones hechas por el ser humano eran muy similares a las que se producen en la naturaleza. Al ritmo en el que se quemaba carbón en la década de 1890 no lo veían como un problema, ya que la duplicación tardaría miles de años en producirse. También pensaron que los océanos podían absorber la mayor parte de esas emisiones, por lo que no había motivo de preocupación.

Esta fue la primera indicación de que la quema de combustibles fósiles para obtener calor podría añadir suficiente CO₂ a la atmósfera como para producir algún efecto no deseado. No tenían una idea clara de cómo este aumento de calor podría afectar al clima general del planeta, solo cómo podría derretir los glaciares.

A lo largo de principios y mediados del siglo ^{xx} hubo una considerable discusión, y una considerable duda, de que el aumento del CO₂ tuviera un gran efecto en el planeta. Una vez más, se creía que los océanos eran un interminable sumidero de dióxido de carbono.

Con la era atómica, en 1945, se pudieron identificar los isótopos de carbono y se compararon en los anillos de los árboles y en otras formas de fijación de carbono. Los

científicos pudieron distinguir entre el carbono «antiguo» de los combustibles fósiles y el carbono «actual» de la atmósfera de ese momento. También fueron capaces de distinguir qué porcentaje del CO₂ que había en la atmósfera de esos años provenía de la quema de combustibles fósiles y qué porcentaje era parte del sistema de carbono «actual».

A mediados de la década de 1950, el investigador **Charles David Keeling** (1928-2005) quería medir con precisión la cantidad de CO₂ que había en la atmósfera, pero creía que el uso de instrumentos de medición cerca de los centros de población daría resultados inexactos. Se decidió por la instalación de sensores en el observatorio de Mauna Loa, en Hawai, a 4 145,28 m de altura. Sentado a esa altura en medio del océano Pacífico en 1958, **Keeling** comenzó sus mediciones, que para nosotros son un importante punto de partida y que los científicos han estado constantemente siguiendo y actualizando desde entonces. Al comienzo de su investigación **Keeling** notó un aumento constante de CO₂. Era mucho más alto de lo que se esperaba si, como se aceptaba comúnmente, los océanos estaban absorbiendo el 80 % de las emisiones.

El hijo de **Keeling, Ralph**, continúa la investigación de su padre hasta el día de hoy con los datos de la Curva de Keeling (un registro diario de dióxido de carbono atmosférico) que los científicos usan abundantemente.

La primera vez que apareció publicado el término *calentamiento global* parece haber sido gracias al climatólogo **Wallace Broecker** en un artículo de 1975 en la revista *Science* que se titulaba «Cambio climático: ¿estamos al borde de un pronunciado calentamiento global?». Es bastante sorprendente que una predicción hecha en 1975, que usaba un modelo sencillo de sistema climático, pudiera coincidir con tanta precisión con el cambio de temperatura global que estamos viendo hoy en día. Es un testimonio del efecto dominante del CO₂ y del hecho de que hemos ido

adquiriendo una sólida comprensión de los fundamentos del funcionamiento del clima de la Tierra a lo largo de muchas décadas.

En junio de 1988 el Dr. **James Hansen**, científico de la NASA, popularizó el término *calentamiento global* tras afirmar en el congreso de los EE.UU. que «el calentamiento global ha alcanzado un nivel tal que, con un alto grado de fiabilidad, podemos establecer una relación causa-efecto entre el efecto invernadero y el calentamiento observado». Después de que el Dr. **Hansen** se retirara de la NASA en abril de 2013 (después de 46 años en la administración pública), asumió un papel más activo en el ámbito político y jurídico y ha realizado importantes esfuerzos para limitar los gases de efecto invernadero.

El término «cambio climático» (*climate change*) se remonta al menos a 1939. Un término estrechamente relacionado, *climatic change*, también se usó durante algún tiempo, como pone de manifiesto el artículo científico de 1955 «The Carbon Dioxide Theory of Climatic Change» (La teoría del dióxido de carbono en el cambio climático) de **Gilbert Plass**. En 1970, la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences* publicó un artículo titulado «Carbon Dioxide and Its Role in Climate Change» (El dióxido de carbono y su papel en el cambio climático).

En 1988, cuando los principales gobiernos del mundo establecieron un órgano consultivo de científicos de alto nivel y de otros expertos en el clima, para revisar la literatura científica cada pocos años, lo denominaron Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Este grupo está trabajando en su sexta evaluación del clima, basándose en el trabajo de cientos de científicos de todo el mundo, para permitir que los responsables de la formulación de políticas de todos los niveles de gobierno tomen decisiones sólidas y basadas en evidencias. El IPCC compartió el Premio Nobel de la Paz