

Trampas del calor

Detrás del cristal, la escarcha se desploma y el calor del hogar calma se vuelve (Juan José Flores)

JOSÉ IGNACIO PRIETO

Asociamos de forma intuitiva invernaderos con ventanas, que en la ciencia atmosférica son conceptos contrapuestos. A esclarecerlos ayuda la historia de la radiación. Y claro, Aristóteles. Fascina redescubrir sus acertadas intuiciones, razonadas en *Meteorológica*. No es el Sol quien calienta el aire, "sino el calor que proviene directamente de la Tierra" (*Libro I*).

Saltemos al siglo XVIII. Horace-Benêdict de Saussure, geólogo suizo, fundador del alpinismo y de los primeros en coronar el Mont-Blanc allá por 1787, mide los efectos térmicos de la radiación del Sol con ayuda de trampas de calor o helio-termómetros, que coloca en valles y cimas. También inventará el higrómetro de cabello. Su tesis doctoral *Dissertatio physica de igne* anotaba que los cuerpos oscuros absorben más calor que los claros. Habla en ella del "fuego, y otros fluidos elásticos encerrados en el interior del Globo", que entonces ostentaban el mérito de moderar la temperatura sobre la superficie. De su artilugio para almacenar calor nos queda solo su diseño, su *blueprint*:

"... hice hacer una caja de abeto, de un pie de largo, nueve pulgadas de ancho y nueve de profundidad revestida internamente con corcho negro de una pulgada de espesor. Había elegido esta corteza como un material ligero y al mismo tiempo muy coherente y muy poco permeable al calor... para que el sol incidiese perpendicularmente sobre estos espejos y produjese la mayor impresión con el menor reflejo posible. El mayor calor que obtuve fue 87,7 grados -Réaumur-, casi ocho grados por encima del calor del agua hirviendo".

Saussure, poco familiarizado con Aristóteles, no entendió por qué esos valores a distintas altitudes en torno a Chamonix eran tan similares, cuando

esperaba un calentamiento solar mayor en las alturas que en el valle. El Sol debía ser la estufa del aire... pero no lo era.

La duda pasó al siglo XIX, cuando Jean Baptiste Joseph Fourier, el célebre matemático de infinitas series en Netflix, sugirió en su *Théorie analytique de la chaleur* de 1822 que la atmósfera moderaba la temperatura planetaria, y que el suelo sería gélido sin ella. Lord Kelvin calificó esa teoría de "gran poema matemático". Utiliza Fourier las experiencias de Saussure con cajas de vidrio para analizar la profundidad que alcanzaban los flujos de calor. El término invernadero empezó a usarse poco después.

Aunque no le interesó la discusión en boga sobre la naturaleza física del calor, Fourier calcula las temperaturas planetarias que equilibran las fuentes de calor externas con el *calor oscuro* que escapa de la superficie terrestre. Explica la discordancia con la temperatura real por la

interposición de la atmósfera, donde "el calor solar encuentra menos obstáculos para penetrar el aire en su estado de luz que para atravesarlo convertido en calor oscuro". Existe una causa física que incrementa las temperaturas superficiales y da calor al aire, independiente del Sol y del interior de la Tierra. Aquí en lo oscuro acecha el concepto de cuerpo negro, que todo lo absorbe y emite según su temperatura, y que introducirá Gustav Kirchhoff en 1859.

Será Claude Pouillet en 1838 quien refine la teoría de Fourier y apunte al vapor de agua y al dióxido de carbono como causas físicas, aunque aún no aporte medidas. También es suya una de las primeras estimaciones de la constante solar con un error de solo 10 % sobre la actual. Pero en las décadas siguientes se usaría un valor obtenido por Samuel Langley, más prestigioso que Pouillet, que era un 30 % demasiado alto, me-

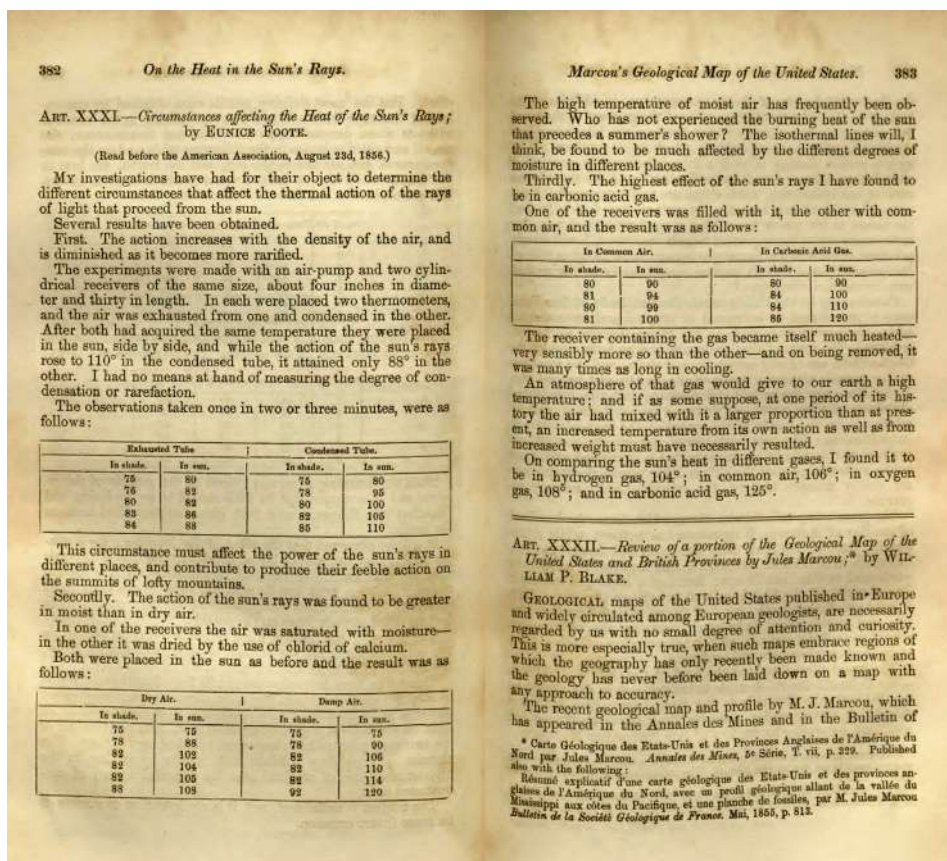


Figura 1. Circunstancias que afectan el calor de los rayos solares, por Eunice Foote en 1856

Trampas del calor

Figura 2. Primeras estimaciones del calentamiento en series de temperaturas, por Guy Callendar

dido en Mont Whitney. Langley fue pionero de la aviación y de la astronomía, y dejaría su nombre en un reconocido centro de la NASA. ¡Quién le iba a afeear su imprecisión!

Eunice Foote en 1856 figura como primera experimentadora en proponer el gas ácido carbónico como el más afectado por la luz solar (!). Junto a su marido y prestigioso juez presenta las medidas en grados Fahrenheit ante la Academia Americana para el Progreso de la Ciencia (AAAS). Siguiendo la tradición de experimentos caseros puso distintos gases en ampollas cerradas y midió la temperatura en su interior para saber qué gas absorbía más *calor de los rayos del sol*, que así se titulaba su ponencia del 23 de agosto. Pese a centrarse en la luz solar, y estar seguramente sus experimentos alterados por el calor del entorno, llegó a la conclusión de que el gas más absorbente de calor solar era el dióxido de carbono. Sabemos hoy que este gas tiene poco poder de absorción fuera del espectro infrarrojo térmico, pero en física y en navegación a veces se llega a buen puerto por la ruta equivocada. Así dejó por primera vez escrito en su emancipado estilo el papel del gas (figura 1):

"La acción térmica del Sol crece con la densidad del aire... esta circunstancia afecta el poder de los rayos solares y explica su floja acción en las cimas de altas montañas... acción que es mayor en aire húmedo que en seco... la alta tempera-

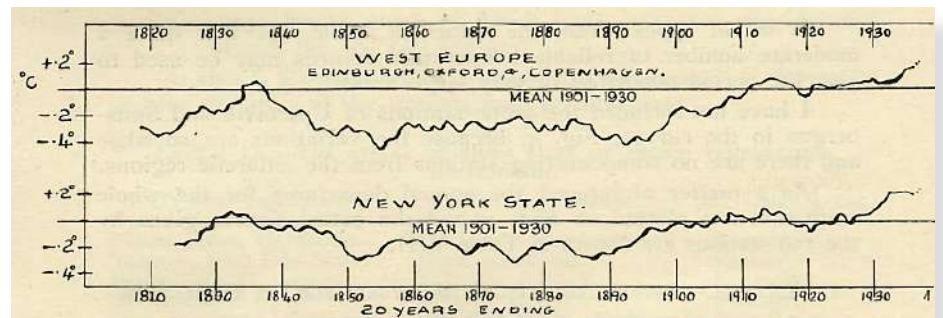


Fig. 3.—The most reliable long period temperature records. Twenty-year moving departures from the mean, 1901-1930.

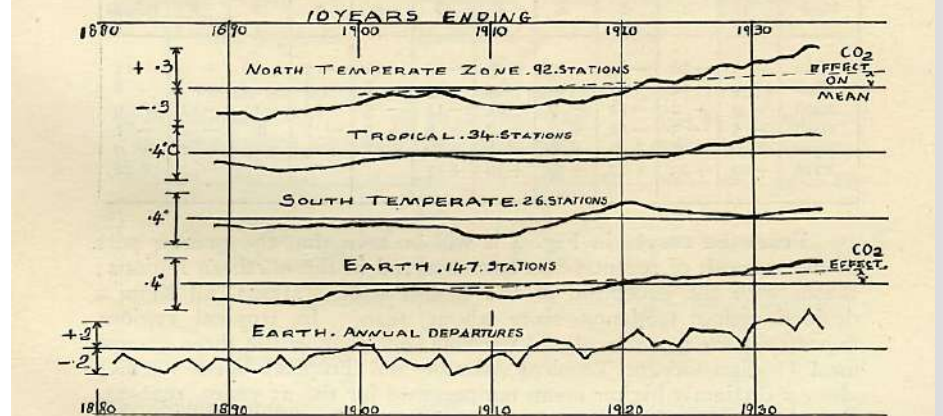


Fig. 4.—Temperature variations of the zones and of the earth. Ten-year moving departures from the mean, 1901-1930, °C.

tura del aire húmedo ya se ha observado, pues ¿quién no ha experimentado el ardiente calor del sol que precede a un aguacero en verano?... El mayor efecto de los rayos del Sol lo he hallado con el gas ácido carbónico... una atmósfera rica en él daría a nuestra Tierra una alta temperatura. Y si en algún periodo de su historia el aire se hubiera mezclado con una proporción mayor que ahora resultaría en más temperatura por acción de ese gas y por el mayor peso del gas".

Además de diestra experimentadora, Foote fue segunda en la lista de feminis-

tas que firmaron una *declaración de sentimientos y propósitos* en la convención de Seneca Falls, ciudad de por allá, en 1848, en la que, o *tempora o mores*, el derecho al voto de la mujer no figuraba aún entre los prioritarios *sentimientos*. También su marido Elisha firmó la declaración.

Al otro lado del océano y tres años después, el irlandés John Tyndall aportó datos precisos a la naciente climatología, quizá faltando a su honor científico de mencionar la aportación previa de los Foote. Imagino con benevolencia que las noticias del nuevo continente

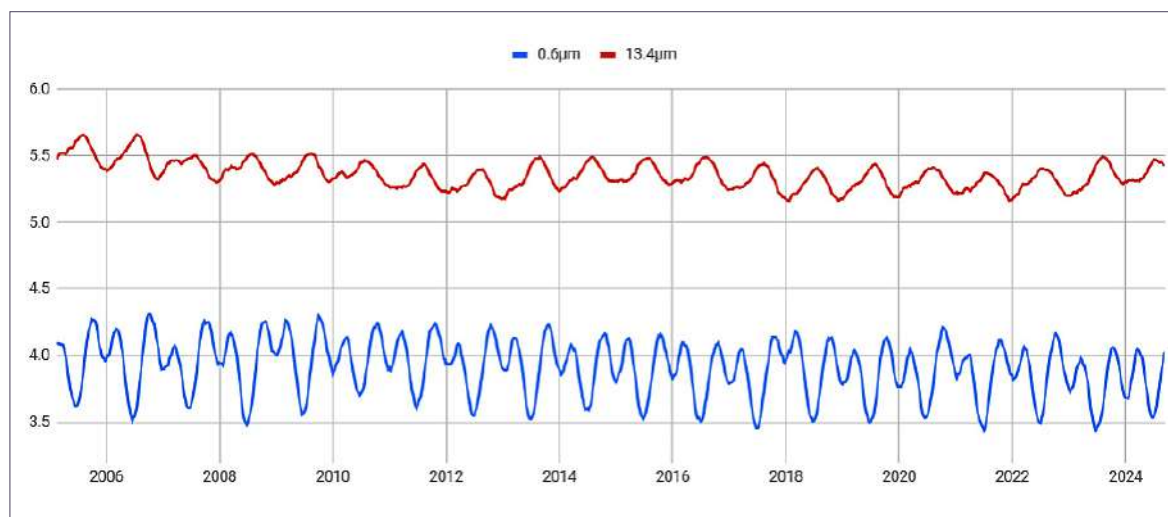


Figura 3. Evolución de radiancias medidas por Meteosat para los canales 0.6 μm (en azul) y 13.4 μm (en rojo). Fuente: Eumetsat, elaboración propia

no volaban tan lejos, siendo entonces la ciencia americana una hermana pobre de la europea.

Tyndall y su equipo, con elegantes instrumentos, demostraron en el Instituto Real en Londres que “la atmósfera admite la entrada de calor solar, pero entorpece su salida, resultando una acumulación de calor en la superficie planetaria”. El experimento se hizo evitando la luz solar, y concluyó que las variaciones en la concentración de vapor de agua, principal absorbente, “deben producir un cambio climático. Sin el vapor de agua la superficie terrestre sería presa del puño férreo de la escarcha”. Dejemos como ejercicio al lector producir escarcha sin el vapor. “Similares consideraciones se aplican al ácido carbónico difuso en el aire. Tales cambios pueden haber producido las mutaciones climáticas que nos descubren los geólogos”.

Muy conocidos son los cálculos de Svante Arrhenius en 1896 del calentamiento correspondiente a doblar teóricamente el nivel de CO_2 , que hoy heredamos y denominamos sensibilidad climática. También estimable es la evaluación de tal calentamiento antes de 1938 por Guy Callendar sobre series de temperatura en América y Europa, que muestran una evolución paralela y *tendenciosa*. Dos décimas de grado Celsius en 40 años, según sus gráficas (figura 2). También se lee en ellas un importante descenso de temperatura en torno a 1840, con la industrialización ya pujante, que ilustra la variabilidad natural en el clima. El informe de 2021 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) indica que hacia final del siglo XXI la temperatura global en superficie alcanzará fácilmente dos grados sobre el nivel pre-industrial por efecto invernadero conjunto de todos los gases. Pero fue Callendar quien señaló el carbónico como el principal gas invernadero, por delante del vapor de agua. El carbónico absorbe calor en regiones espectrales de mayor emisión por el suelo y a mayor altura promedio que el vapor. Frente a la incredulidad de sus contemporáneos sostuvo que el cambio climático debido a los 4200 millones de toneladas de dióxido de carbono que emitía entonces al año la humanidad (según su cálculo, nueve veces menos que en 2024) ya estaba ocurriendo y podía revertir “el regreso de

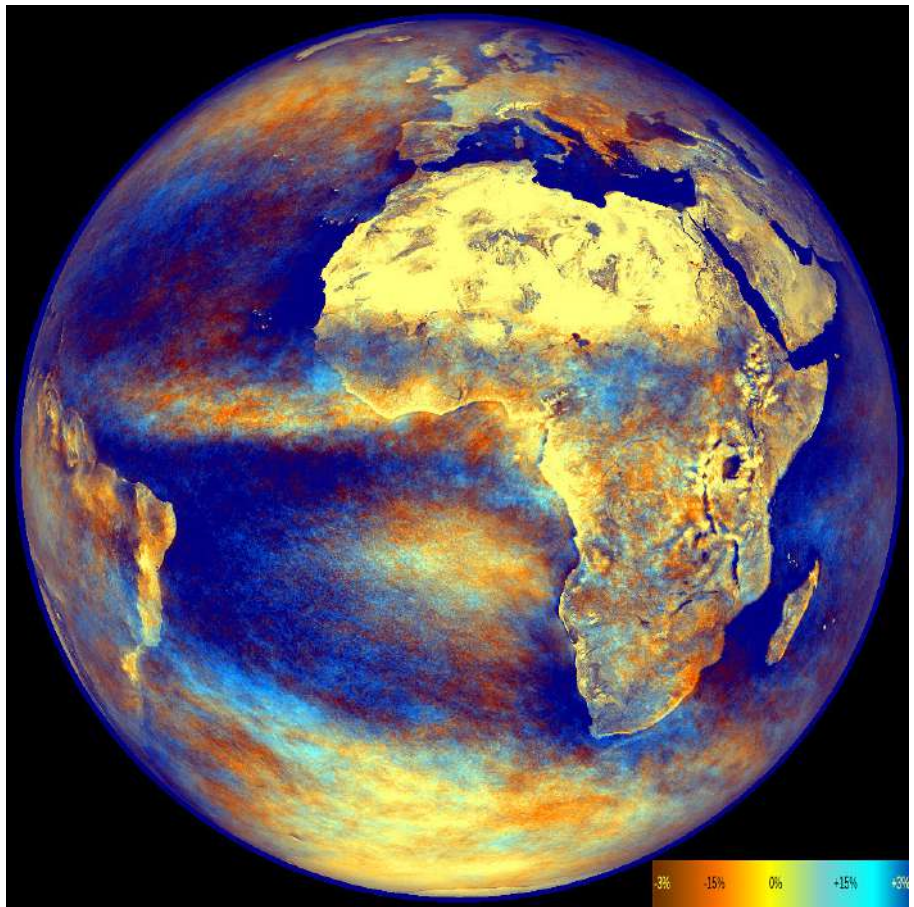


Figura 4. Zonas más afectadas por nubosidad creciente (turquesa) o decreciente (naranja) en los pasados veinte años. Fuente: Eumetsat, elaboración propia

los mortíferos glaciares”. De momento mortecinos.

Conservo la edición de 1976 de un atlas climático que habla de la próxima glaciación, y da eco a sugerencias para cubrir el Ártico de película oscura para evitar el mortífero retorno. Ese detalle me pone en guardia frente a soluciones y fórmulas geo-ingenieriles irreversibles.

Hoy en día, satélites como Meteosat llevan la cuenta de la evolución de la radiación también en las regiones infrarrojas con más absorción por CO_2 , como se ve en la figura 3. El incremento sostenido en la concentración de ese gas en las últimas décadas reduce progresivamente el calor *negro* en torno a 14 μm terrestre que escapa de la Tierra, y así calienta la superficie. La moderación de los últimos años acerca la esperanza de que el tapón gaseoso del calor quede compensado por la mayor emisión de radiación al espacio desde un suelo recalentado. Notable es también la pérdida general de nubes en la última década, como se aprecia también en esa figura 3 y su distribución geográfica, con

pérdidas mayoritarias, por ejemplo en la zona de convergencia somera de Angola-Benguela pero ganancias en el Sahel (figura 4).

La conexión entre meteorología y astronomía, lo alto de Aristóteles y la alta frontera de Carl Sagan, renace con la importancia de los gases. El análisis espectral identifica especies químicas en atmósferas planetarias y a través de telescopios y satélites que estiman su concentración. Un extraterrestre sabe que la concentración de *ceodós* crece un 6 % por década en la Tierra. También sabe que las concentraciones de vapor de agua varían, a veces drásticamente, en episodios de lluvias y relámpagos. Tal vez se pregunte qué gente o agente anda detrás de su mudanza.

Referencias

- https://science.nasa.gov/ems/13_radiationbudget/
- <https://courses.seas.harvard.edu/climate/eli/Courses/global-change-debates/Sources/CO2-saturation/more/Zhong-Haigh-2013.pdf>
- Y claro, Wikipedia.