

## Azares del Clima

por José Antonio López Díaz



### LA ANTÁRTIDA MISTERIOSA

Un reciente artículo publicado en la revista *Nature* revisa considerablemente al alza las estimaciones de la pérdida de masa de hielo en el continente antártico. Según el equipo de investigadores IMBIE (*Ice sheet Mass Balance Inter-comparison Exercise*) integrado por miembros de múltiples entidades investigadoras, aplicando las últimas técnicas de medida con satélite de extensión, flujo y gravimetría junto con modelos de balance de masa, en el periodo de 25 años 1992-2017 ha habido una pérdida de masa del hielo de  $2.7 \pm 1.4$  tera-toneladas ( $10^{12}$  toneladas) de hielo. Esta pérdida de hielo se traduce en un aumento del nivel medio del océano de  $7.6 \pm 3.9$  mm. Esta pérdida se localiza fundamentalmente en la Antártida occidental, en la que se habría pasado de una tasa de aumento anual de  $53 \pm 29$  giga-toneladas/año ( $10^9$  toneladas) a  $159 \pm 26$  giga-toneladas/año. En cambio en la Antártida oriental los autores afirman que existen grandes discrepancias entre las diferentes estimaciones, y dan una tasa anual media de aumento de hielo de  $5 \pm 46$  giga-toneladas/año.

El hecho de que se sigan revisando de forma significativa las estimaciones del balance de hielo, que tanta importancia tienen para el sistema climático, es otra prueba más de la dificultad grande de conocer con precisión, y por tanto simular, el clima de nuestro planeta. En el contexto de los estudios paleoclimáticos, una de las incógnitas más serias para entender el proceso de glaciación y periodos interglaciares del Cuaternario (que se inició hace 2.6 millones de años) es la dinámica de los impresionantes avances y retrocesos de las masas de hielo sobre todo en el hemisferio norte. En estas escalas de tiempo geológicas hay modelos que estiman la constante de tiempo intrínseca del proceso de avance en 40000 años, y de retroceso en 10000 años. Según la teoría más aceptada de Milankovitch basada en los parámetros orbitales de la órbita de la Tierra alrededor del Sol, una glaciación se pone en marcha debido a una configuración de los parámetros que, según la sugerencia de Köppen, hace que el verano en latitudes altas del hemisferio boreal sea más frío de lo normal. Esto provoca que haya menos deshielo, lo que a su vez aumenta el albedo de la superficie terrestre (el hielo refleja mucho la radiación solar) que aumenta el enfriamiento, y así sucesivamente. Pero el proceso detallado de estos avances/retrocesos de las masas de hielo, con constantes de tiempo tan grandes, es muy complejo.

Un dato que sin duda llama la atención es que la estimación en la Antártida oriental es más bien de tendencia creciente de la masa de hielo. Uno de los argumentos que se manejan para explicarlo radica en la mayor capacidad del aire para contener humedad cuando aumenta la tempe-

ratura, lo que se traduce paradójicamente en que con un aumento de la temperatura en esas altas latitudes puede nevar más y por tanto aumentar la masa de hielo. La explicación física de este fenómeno, importantísimo para entender el clima, la da la ecuación de Clausius-Clapeyron que predice un aumento prácticamente exponencial (a las temperaturas habituales) de la tensión de vapor saturante del vapor de agua con la temperatura. Por cada  $3$  °C de aumento de la temperatura la tensión saturante del vapor de agua aumenta aproximadamente un 20 %, y de forma paralela por tanto aumenta la cantidad de vapor de agua que la atmósfera puede contener por unidad de masa de aire. Algunos llaman a esta ecuación la ecuación fundamental del clima, y sin duda es un buen candidato. Y es un buen ejemplo de lo complicado de los fenómenos climáticos, pues los aumentos exponenciales son mucho más complejos de asimilar conceptualmente que los lineales. Ya decía Einstein que el interés compuesto es la octava maravilla del mundo, y que quien lo entiende lo gana y quien no lo entiende lo paga. El interés compuesto es difícil de entender precisamente por la ley exponencial que sigue. Como curiosidad histórica, parece ser que fue precisamente un problema de interés compuesto, planteado por un astuto banquero a Jacobo Bernouilli, uno de los genios fundadores de la teoría de la probabilidad y estadística, el que condujo a este al descubrimiento de la constante ahora conocida como  $e$ , la segunda más importante de toda la matemática.

En termodinámica una fuente de leyes de tipo exponencial es el segundo principio de la termodinámica. La clave es que, a diferencia del primer principio que es una ampliación de la conservación de la energía, introduce una nueva variable de estado, la entropía, que se define por un cociente entre otras variables termodinámicas, en concreto el intercambio calorífico y la temperatura. Y cuando el intercambio calorífico se expresa a su vez en función de otras variables termodinámicas, usando a menudo el primer principio, aparecen en seguida derivadas logarítmicas, que integradas producen exponenciales. Esto precisamente es lo que pasa con la ecuación de Clausius-Clapeyron (para una demostración de esta ecuación maravillosamente simple ver el clásico de termodinámica de la atmósfera de Francisco Morán).

Así que por estos vericuetos intelectuales a ver si va a resultar que acabar de entender y predecir con precisión el clima es tan complicado como con el proceloso mundo de las finanzas, donde la "einsteiniana" octava maravilla del mundo campa por sus respetos. No sé, no sé, dan ganas de preguntar a George Soros qué piensa de todo esto...