



Una ilustrativa analogía entre el cambio climático y el hundimiento del trasatlántico

La certeza matemática del 5º compartimento del Titanic

Ferran P. Vilar

La analogía de la dinámica del clima terrestre con el famoso buque Titanic resulta muy adecuada para comprender el comportamiento de un sistema retroalimentado sometido a una perturbación que supera su capacidad de respuesta. La película que narra el hundimiento del buque tiene, además, la virtud de haber sido la más taquillera de la historia y, por tanto, esta metáfora puede resultar significativa para un gran número de personas.

El clima de la Tierra es el resultado de la interacción de unos pocos componentes que no sólo se ven afectados por el efecto invernadero sino también por la influencia que este efecto tiene en sus distintos componentes. Estamos frente a un sistema formado por subsistemas, cada uno de los cuales tiene su propia forma de responder a las perturbaciones a las que está sometido. Si somos capaces de conocer matemáticamente las leyes (ecuaciones) de comportamiento de esos subsistemas, y también las ecuaciones (matemáticas) de cómo se interrelacionan e influyen

mutuamente esos subsistemas entre sí, la aplicación de las leyes (matemáticas) de la teoría de sistemas nos permite conocer (matemáticamente) el comportamiento del sistema completo.

Estos efectos de un componente que, a su vez, suponen perturbaciones de otro componente con el que están relacionados (por ejemplo, la disminución de la capa de hielo blanca deja al descubierto océano o área terrestre de un color más oscuro: por tanto, refleja mucho menos la radiación solar al espacio y la superficie liberada se calienta más que lo que lo haría si sólo existiera el efecto invernadero pero no este efecto añadido) son característicos de los sistemas realimentados, y puede demostrarse que las leyes matemáticas de comportamiento de un sistema de este tipo tienen unas características de funcionamiento que no

resultan en absoluto evidentes:

- Retardo de los efectos con respecto a la causa.
- Comportamiento de tipo exponencial (no proporcional).

Una característica bien propia del sistema climático es, además, su lenta evolución con respecto a nuestros sistemas atávicos de planificación y reacción.

La analogía *sistémica* de la dinámica del clima terrestre con el famoso buque Titanic me parece muy adecuada para comprender el comportamiento de un sistema retroalimentado sometido a una perturbación que supera su robustez. Esta película, dirigida por James Cameron en 1997, tiene además la virtud de haber sido la más taquillera de la historia y, por tanto, esta metáfora puede resultar significativa para un gran número de personas.

Algunas de las analogías que pueden

Ferran P. Vilar, autor de la web de divulgación científica y comunicación sobre el cambio climático

<http://ustednoselocree.com> (donde también se puede encontrar este artículo)

establecerse se describen a continuación.

Forzamiento e inercia

Podemos imaginar el sistema “Titanic + mar a su alrededor” análogamente al sistema “Tierra”. Podemos imaginar al Titanic como un barco tenido por todo el mundo como insumergible, de la misma forma que los humanos, por lo menos en su inmensa mayoría, *padecemos* del prejuicio de creer que el clima de la Tierra es estable.

Podemos, asimismo, imaginar que estos sistemas resultan forzados en su capacidad de resistencia (resiliencia, robustez). En el caso del Titanic, el capitán, Edward John Smith, acepta un *forzamiento* de los motores, estableciendo como velocidad de crucero la velocidad máxima. En el caso de la Tierra, este forzamiento es científicamente denominado *radiativo* [1], y lo hacemos a una velocidad nunca antes alcanzada, hasta donde sabemos, en toda su historia geológica.

También podemos imaginar los motivos de tal comportamiento. El Titanic forzó sus motores y estructura para batir un récord de velocidad en su trayecto; nosotros los humanos, al forzar radiativamente a la Tierra, estamos generando velozmente, con nuestro consumo desaforado de productos y servicios obtenidos mediante energía fósil, estándares de riqueza (¿bienestar?) jamás alcanzados.

El Titanic, debido a su inercia (y excesiva velocidad), no alcanza a esquivar el iceberg asesino a pesar de haberlo avistado minutos antes. La Tierra también tiene su inercia a efectos de comparación: aunque hoy tomemos medidas drásticas para reducir, o incluso eliminar, toda emisión perjudicial, pasarían por lo menos décadas antes de que los niveles de gases de efecto invernadero en la atmósfera dejaran de forzar el clima, y siglos, probablemente milenios, antes de volver a la situación de estabilidad conocida.

Umbral de estabilidad y retroalimentación positiva

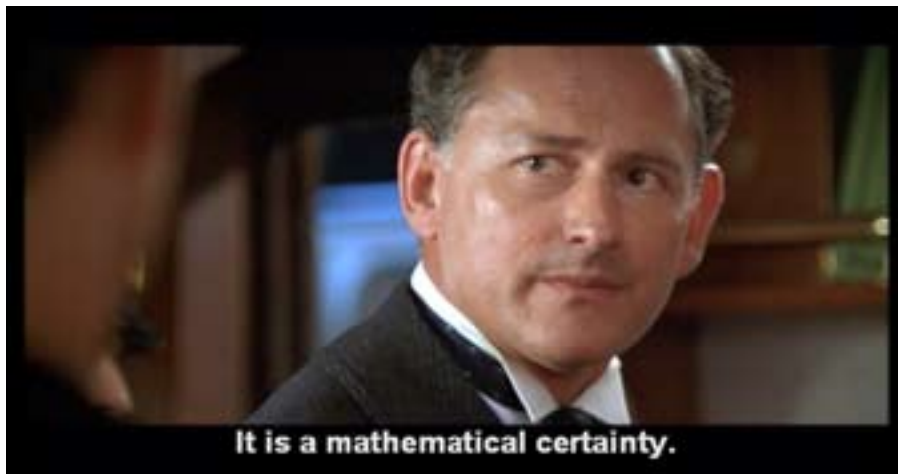
La intensidad del forzamiento es una de mis analogías preferidas. En el Titanic, tras la colisión con el iceberg y el informe de daños a la vista, Thomas Andrews, el ingeniero jefe del navío, informa consternado al capitán:

“El agua alcanzará varios metros por encima de la quilla en diez minutos. Las tres primeras bodegas y las salas de calderas seis y cinco están inundadas. Cinco compartimentos. Podría mantenerse a flote con los cuatro primeros anegados pero no con cinco. ¡No con cinco! Cuando se hunda de proa, el

agua pasará por encima de los mamparos de la cubierta E, pasará de uno a otro, inundando todo sin remisión. Es imparable.”

Andrews mira fijamente al constructor del navío, quien había ordenado navegar a máxima velocidad convencido de que este buque no puede hundirse!

“Está hecho de hierro, señor. ¡Le aseguro que si puede! ¡Y lo hará! *Es una certeza matemática*”.



De haber sido sólo cuatro los compartimentos inundados, Andrews debía estimar poder ingeniárselas para bloquear el paso de las aguas o bien establecer un comando de emergencia capaz de, por lo menos, achicar la misma cantidad de agua que la que entraba. Pero al ser cinco los compartimentos inundados esta tarea resultaba ser ya imposible.

Se había superado el *umbral de estabilidad* del sistema, un punto de no retorno; el sistema se había desequilibrado y no era posible, *desde el mismo buque*, restablecer o mantener el equilibrio sobre las aguas. Se había superado el umbral a partir de cuyo momento toda entrada de agua provocaba unos efectos que, a su vez, eran causa de un aumento todavía mayor de la cantidad de agua entrante. Entre estos efectos-*causa* se encuentra, por ejemplo, la inclinación creciente del navío.

En el sistema climático de la Tierra ocurre algo análogo. Superado cierto umbral de concentración atmosférica de gases de efecto invernadero, el *navío* Tierra pone en marcha mecanismos que escapan a todo control humano. Mecanismos cuyas consecuencias provocan, a su vez, un incremento mayor aún de la concentración de gases de efecto invernadero, y así sucesivamente. Se trata del efecto conocido popularmente por círculo vicioso, técnicamente denominado *retroalimentación positiva*.

A mayor concentración de gases de efecto invernadero, mayor temperatura

media de la Tierra lo que, a partir de un cierto punto, provoca a su vez mayores emisiones de gases de efecto invernadero, tanto antropogénicas como *naturales* [2], éstas últimas debido a la interacción con el denominado ciclo del carbono.

Cuál vaya a ser la concentración de estos gases que pueda provocar este punto de *no retorno* en el sistema climático terrestre no es posible determinarlo con exactitud, aunque sí sabemos que, por

lo menos, estamos rondando este valor y que, o bien ya lo hemos superado, o estamos a punto de hacerlo dentro de muy poco tiempo. ¿Cuánto?

Tiempo de respuesta y comportamiento exponencial

Encontramos una nueva analogía, algo más sangrante, en los denominados *tiempos de respuesta* de sendos sistemas. Así, en el Titanic:

“¿Cuánto tiempo tenemos?” –interroga el capitán, consternado–.

“Una hora. Dos, como mucho.” –responde Andrews.

Desde que se produce el impacto con el iceberg y comienza a inundarse el quinto compartimento hasta que el navío se hunde por completo y se estabiliza en el fondo del mar transcurre cierto tiempo. Dos horas, como máximo. También transcurre cierto tiempo entre el momento en que la concentración de gases de efecto invernadero de la atmósfera terrestre supera un umbral crítico, el sistema climático entra en zona de inestabilidad y la Tierra encuentra un nuevo estado estable, nada parecido al actual: desde luego, un planeta irreconocible.

A través del Titanic podemos también darnos cuenta de lo que es un comportamiento *exponencial* de un sistema. Al principio, da la impresión de que el buque capota de forma proporcional al tiempo transcurrido desde la perturbación sufrida, mientras que llega un momento en que es evidente la aceleración del fenómeno



de hundimiento. En el caso de la Tierra, y siempre con valores promedio formalmente medidos, desde 1850 hasta el año 2000 (aproximadamente), el crecimiento ha sido también aproximadamente proporcional.

Sin embargo, es sólo una apariencia: yendo hacia atrás década a década encontraríamos una evolución cada vez más lenta, con la salvedad del período posterior a la Segunda Guerra Mundial. Ciertamente, durante bastantes años la falta de regulación de las plantas generadoras de electricidad mediante la quema de carbón permitió una emisión continua de partículas a la atmósfera (aerosoles) que, al interceptar la energía solar, provocaron un enfriamiento *momentáneo* que enmascaró temporalmente el calentamiento de fondo en curso. De hecho, este efecto todavía perdura parcialmente, y se denomina *oscurecimiento global*.

Minorías informadas y margen de incertidumbre

Una (casi) última analogía puede establecerse con respecto a los individuos. En el Titanic, una minoría bien informada, la que estaba al mando de la nave, supo bien pronto qué es lo que iba a suceder. Estaba en el conocimiento de que *matemáticamente* el Titanic se hundiría. El pasaje al completo seguía de fiesta. Los primeros en ser informados fueron las elites, los pasajeros

James E. Hansen, climatólogo que acuñó la expresión del Síndrome de Venus. FOTO: BILL EBBESEN.



de primera clase. En la Tierra, no duden ustedes de que hace ya tiempo que las elites, bien informadas por los científicos (equivalentes al ingeniero jefe del Titanic) lo saben, aunque a muchos les ha costado creerse tal nivel de alarma y algunos todavía no se lo quieren creer.

Los que no se lo creen a estas alturas de la película es que no pueden creérselo: están presos de su ideología, que no les permite abdicar de algunos prejuicios para ellos inquebrantables: mercados autorregulados, gobierno mínimo para no molestar a las empresas, fe literal en la Biblia, atavismos diversos... A no olvidar a los que lo saben, pero viven bien simulando que no, caso de algunos energúmenos radiofónicos.

He dicho que era *casi* la última analogía, pero sólo por un motivo: hemos llegado, en esta metáfora, a la situación del tiempo presente. Dejo al lector que imagine analogías venideras: a qué pueden corresponder los botes de salvamento y su cantidad, o si el Titanic llevaba demasiado pasaje; qué ocurre cuando en un bote todavía caben personas pero no es posible acogerlas por temor a que perezcan todas, incluidas las que ya se tienen por salvadas. ¿A qué cree el lector que puede asimilarse aquel buque lejano al que se recurrió como posible auxilio, pero que, dada su lejanía y velocidad, no llegó a tiempo de evitar la muerte de la mayor parte del pasaje?

Pero... un momento. ¿Cuánto tiempo nos queda, Sr. Andrews?

¿Cómo es que el ingeniero jefe dijo una hora... dos como mucho? ¿Por qué no supo dar una cifra exacta para poder planificar con mayor precisión? Porque los cálculos científicos y técnicos generan verdades, pero siempre queda alguna variable sometida a incertidumbre (si bien puede llegar a acotarse con niveles de probabilidad rayanos en lo cierto), con más motivo en cuanto a predicciones se refiere. Andrews acotó la incertidumbre: entre una y dos horas, y así fue.

Téngalo por seguro: si todo sigue igual, la Tierra se hunde. Completamente [3]. Nos queda todavía la incertidumbre de

saber cuándo. Algo ya sabemos: el choque con el iceberg ya se ha producido. Para hundirnos: 20-30 años, 50 como mucho para un colapso monumental. *The Climate Crunch*, *The Perfect Storm*. Algunas voces muy respetadas señalan que, para finales de siglo, quedará sólo un 5% de los humanos, viviendo muy cerca de los polos [4].

Para saber cuál es este margen de incertidumbre, y qué se puede hacer para reducirlo, siga el *blog* <http://ustednosolocree.com>. La ciencia todavía no ha hablado definitivamente en este punto concreto, pero nunca en la historia se han dedicado tantos recursos y esfuerzos a la investigación científica como hoy en día en el campo del calentamiento global. Decenas de miles de personas de la máxima cualificación, de todo el mundo, trabajan ahora esforzadamente en ello, con un sentimiento de urgencia (y frustración) difícil de describir. El reto es monumental, y lo que está en juego somos ni más ni menos que usted y yo. Y miles de millones más. ☼

Notas y referencias

- 1 Este *forzamiento radiativo* consiste en que nuestro sistema socio-económico nos invita a inundar la atmósfera con gases de efecto invernadero que bloquean —parcialmente— la salida de la radiación calorífica que la Tierra desearía emitir hacia el espacio para igualarla a la que absorbe por la acción solar, manteniéndola así en equilibrio.
- 2 Entre las antropogénicas, por ejemplo, mayor consumo energético por aire acondicionado o refrigeración, o por emisiones procedentes de la energía consumida por desalación del agua del mar resultante de la pérdida de regularidad en la disponibilidad de agua potable; entre las segundas, mayor frecuencia y duración de los incendios forestales o liberación de gran cantidad de metano por calentamiento de la tundra ártica o de los mares.
- 3 Es el denominado *Síndrome de Venus*, en expresión de James Hansen, climatólogo jefe de la NASA y considerado por sus colegas como el de mayor reputación de todo el mundo. James E. Hansen, 2008: *Climate Threat to the Planet: The Venus Syndrome*. Bjerknes Lecture, American Geophysical Union, San Francisco. 17-12-2008: "The Venus syndrome is the greatest threat to the planet, to humanity's continued existence [...] Now the danger that we face is the Venus syndrome. There is no escape from the Venus Syndrome. Venus will never have oceans again."
- 4 Barry Brook: 'Lovelock's dire vision'. *BraveNewClimate.com*, 23-06-2009: "his view is that we have almost certainly gone past the point of no return. That is, climate 'tipping elements' have been set in motion by past and ongoing changes to the Earth's [...] Because of this [...] we cannot now avoid a mass extinction of species and a major disruption to the human enterprise." <http://bravenewclimate.com/2009/06/23/lovelocks-dire-vision/>