

## CENTRO DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD C3 2<sup>da</sup> SEMANA DE LA COMPLEJIDAD DEL 31 DE ENERO AL 02 DE FEBRERO



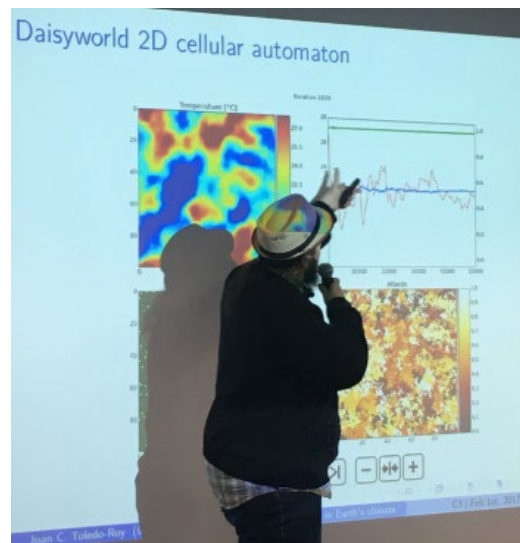
# Entendiendo el cambio climático desde las ciencias de la complejidad

Israel Colchado Flores\*

9 de febrero 2018

El cambio climático es uno de los grandes desafíos al que el hombre se ha enfrentado en las últimas décadas de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas. Algunas de sus consecuencias se han hecho presentes con eventos climáticos cada vez más extremos. ¿Aún estamos a tiempo de revertirlo o mitigar sus efectos? Juan Claudio Toledo-Roy, doctor en astrofísica por la UNAM, advirtió que estamos cerca de un punto de no retorno. Para mostrarlo, presentó algunos resultados de su más reciente investigación sobre cambio climático durante la Segunda Semana de Ciencias de la Complejidad.

Toledo-Roy estudia la pérdida de auto-regulación de la temperatura terrestre debido al cambio climático, utilizando algunas propiedades y conceptos de sistemas complejos como auto-organización, adaptabilidad o transiciones de fase. Para el científico, los conceptos de transición de fase y punto crítico son fundamentales en su estudio del cambio climático, pues los sistemas complejos adquieren algunas propiedades en estas condiciones. “En cierto sentido [...] los puntos críticos se encuentran en la frontera entre una fase ordenada y una desorganización caótica. Es el balance dinámico entre dos fuerzas que compiten”, mencionó el Dr. Toledo-Roy.



Para ejemplificar la importancia de los puntos críticos, mencionó el modelo de Ising –un modelo que permite estudiar el comportamiento de materiales ferromagnéticos–. La simulación computacional se basa en un conjunto de dipolos magnéticos distribuido en un cuadrado, en donde en cada punto solamente puede adquirir un estado (de dos posibles) dependiendo del que tengan sus vecinos. Al calentarse, estos estados pasan de distribuirse ordenada y uniformemente a hacerlo aleatoriamente; pero es en su punto crítico cuando surgen regiones donde un estado predomina por encima de otro, cambiando con el paso del tiempo.

Para observar las consecuencias de la actividad humana en la auto-regulación de la temperatura de la Tierra, el Dr. Toledo-Roy utilizó otro modelo conocido como *Daisyworld*.

Este modelo parte del supuesto de que en un mundo que orbita alrededor de una estrella hay solamente dos clases de margaritas: blancas y negras. Mientras que las blancas reflejan la luz (enfriando al planeta), las segundas absorben los rayos de esta estrella (calentándolo), por lo que la temperatura del planeta dependerá de la cantidad y del tipo de margaritas.

Además, las margaritas también crecen y mueren debido a la temperatura del planeta. “Hay una suerte de interacción entre la temperatura del planeta, que es controlada por la distribución de margaritas, y al mismo tiempo la temperatura controla el crecimiento de las flores,” explicó el Dr. Toledo-Roy.

Al graficar la luminosidad de la estrella y la temperatura del planeta ocurre algo interesante. Cuando la luminosidad es muy baja, la temperatura también lo será, por lo que no habrá margaritas en el planeta que sobrevivan. Sin embargo, las margaritas comienzan a aparecer a partir de cierta cantidad de luz. Gracias a la presencia de las

margaritas, la temperatura del planeta permanecerá casi constante a pesar de incrementar la luminosidad de la estrella (siempre dentro de cierto rango), algo muy similar a lo que ocurre en la Tierra donde la temperatura global se mantiene casi constante. Pero, cuando la cantidad de luz rebaza cierto umbral, las margaritas mueren y la temperatura del planeta crece proporcionalmente a como lo haría la cantidad de luz.

Al analizar las series de tiempo de esta simulación, los investigadores obtuvieron resultados muy similares a los obtenidos en el modelo de Ising. En particular, al tomar su espectro de potencias de Fourier, que mide qué tanto se relacionan las fluctuaciones de las series de tiempo. Toledo-Roy y sus colaboradores descubrieron que sigue una relación matemática conocida como ley de potencia, presente en muchos fenómenos biológicos y físicos de la naturaleza. Esto confirma que la aparición de las margaritas regula la temperatura del planeta.

### ¿Y a mi qué?

Lo interesante de este modelo es que los investigadores pudieron modificarlo e incluir los efectos de los gases de efecto invernadero en este planeta ficticio, al imponer que no se reflejara del todo la luz solar. El Dr. Toledo-Roy mostró que a pesar de esta nueva condición, la temperatura del planeta sigue manteniéndose constante a pesar de aumentar el efecto de estos gases. Nuevamente, hasta cierto límite.

En el modelo, la distribución de margaritas blancas y negras cambió conforme se incrementaba el efecto invernadero. Después de llegar a cierto límite, las margaritas murieron y la temperatura incrementó drásticamente.

En algunos artículos se ha mostrado que la temperatura promedio global sigue distintas leyes de potencia en distintas escalas de tiempo, es decir, que la temperatura se ha auto-regulado diferente si se analizan los registros de hace millones de años comparado con los registros de las últimas décadas. "Nuestra hipótesis fue que la actividad humana, que ha causado el calentamiento global, quizás haya cambiado este equilibrio dinámico [ley de potencia]", mencionó Toledo-Roy.

Para verificar su hipótesis, el científico analizó las series de tiempo de la temperatura global promedio desde 1880 hasta el 2010. Al analizar el espectro de potencia de estas series de tiempo por cada década, descubrieron que había un cambio en la relación de sus fluctuaciones en escalas de tiempo medias, es decir la capacidad de auto-regulación de temperatura parece estar rompiéndose.

"Esta evidencia parece sugerir que la estabilidad de lo que sea que está controlando el equilibrio global del transporte e intercambio de calor está cambiando, está siendo alterado por la actividad humana. Esto sugiere que estamos dirigiéndonos a un punto crítico de inflexión como se puede apreciar en los modelos de Ising o de Daisyworld", concluyó Toledo-Roy.

\*Becario del Programa

UNAM-DGAPA-PAPIME PE308217

