

# LAS MATEMÁTICAS DEL PLANETA TIERRA

## ANTROPOCENO – EJE DE CAMBIO CLIMÁTICO



J. Héctor Morales-Bárceñas<sup>†</sup>

<sup>†</sup>jhmb@xanum.uam.mx

Departamento de Matemáticas, UAM-I



### Resumen

En 2013 la Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), lanzó la propuesta global e interdisciplinaria, *Las Matemáticas del Planeta Tierra*, para abordar muchos retos globales, entre otros *el cambio climático*. A partir de esa iniciativa una comunidad internacional de más de 140 sociedades científicas, instituciones de investigación y organizaciones enfocaron su atención en los retos. El objetivo general es “encauzar la investigación científica identificando y resolviendo cuestiones fundamentales acerca del planeta Tierra”. En este trabajo exponemos una primera reflexión acerca del papel que juegan quienes se dedican a la modelación matemática para abordar el cambio climático con énfasis en el antropoceno.

### Introducción

En la Europa del Siglo XVII la humanidad alcanzó un gran desarrollo científico que le permitió comprender muchos fenómenos naturales con gran precisión. Se estableció *el método científico* que hizo posible descubrir principios y leyes fundamentales de la naturaleza. Lo anterior, impulsó un rápido y dramático desarrollo de la tecnología que trajo cambios históricos para la humanidad, cuya expresión principal fue la Revolución Industrial. Aunque pudiéramos considerar que este esfuerzo ha sido colectivo, son varios centros de poder, sobretudo del hemisferio norte, que siguen dominando el ulterior desarrollo muy por encima de los esfuerzos que hacen economías medianas como la de México. Sin embargo, a pesar de los avances, las crisis del sistema capitalista consiste en no poder resolver todos los problemas, como las consecuencias del cambio climático. De acuerdo con [8], el empuje demográfico, la creciente demanda de recursos naturales y servicios, la globalización y el cambio climático son cuatro “fuerzas” que moldearán el futuro de la civilización, lo cual explica la complejidad de lo que enfrentamos.

Entendemos por cambio climático a las “variaciones de largo plazo en las temperaturas y los patrones climáticos” acelerados por la actividad humana [2]. La comprensión de estas variaciones climáticas y las consecuencias sobre las sociedades, en estrecha interrelación con las “fuerzas” de las que hablamos arriba, son de los grandes retos de la ciencia hoy en día. De acuerdo con *Las Matemáticas del Planeta Tierra* [6], se entiende que no es posible que un solo enfoque se ocupe del problema, requiriendo del concurso de varias ciencias e ingenierías; así también como de los tomadores de decisiones y de los grupos sociales que se ven o verán afectados. No obstante, en las negociaciones sobre las medidas para mitigar o adaptarse a los efectos del cambio climático, no todos los actores y gobiernos están dispuestos sacrificar crecimiento económico, modificar sus relaciones comerciales, adoptar tecnologías energéticas amigables con el medio ambiente o renunciar a su influencia geopolítica [1, 9].

### Cambio Climático

En 1979 tuvo lugar la primera Conferencia Climática Mundial (WCC). Desde entonces, los esfuerzos globales se han concentrado por las Naciones Unidas. En 1988 fue creado el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el objetivo del IPCC es proporcionar a los gobiernos de todos los niveles información científica que puedan utilizar para desarrollar políticas climáticas [2]. Para los informes de evaluación, los expertos ofrecen su tiempo como autores del IPCC para evaluar los miles de artículos científicos publicados cada año para proporcionar un resumen completo de lo que se sabe sobre los impulsores del cambio climático, sus impactos y riesgos futuros, y cómo la adaptación y la mitigación puede reducir esos riesgos. A través de sus evaluaciones, el IPCC identifica la solidez del acuerdo científico en diferentes áreas e indica dónde se necesita más investigación.

En 1995 tuvo lugar la Primera Conferencia de Partes (COP 1) en Berlín, desde entonces han ocurrido cada año hasta la más reciente (COP 27) en Sharm el-Sheikh, Egipto (2022). Es de destacar el Acuerdo de París (COP 21). Es un tratado internacional jurídicamente vinculante sobre el cambio climático. Entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. Su objetivo general es mantener “el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C por encima de los niveles preindustriales” y proseguir esfuerzos “para limitar el aumento de temperatura a 1.5°C por encima de los niveles preindustriales”. Sin embargo, en los últimos años, algunos líderes mundiales han subrayado la necesidad de limitar el calentamiento global a 1.5°C para finales de este siglo. Esto se debe a que el IPCC indica que cruzar el umbral de 1.5°C corre el riesgo de desencadenar impactos del cambio climático mucho más severos, incluidas sequías, olas de calor y precipitaciones más frecuentes y severas. Para limitar el calentamiento global a 1.5°C, las emisiones de gases de efecto invernadero deben alcanzar su punto máximo antes de 2025 como muy tarde y disminuir un 43 % en 2030. El Acuerdo de París es un hito en el proceso multilateral

del cambio climático porque, por primera vez, un acuerdo vinculante reúne a todas las naciones para combatir el cambio climático y adaptarse a sus efectos.

### Temas de Modelación Matemática

Ilustramos con dos ejemplos las temáticas del cambio climático en las que las matemáticas pueden contribuir.

1. Los océanos cubren el 70 % de la superficie del planeta y cerca del 40 % de la población mundial vive dentro de los 100 km desde la costa y en una elevación costera promedio de menos de 10 m sobre el nivel del mar [9]. Surgen varias preguntas, ¿qué particularidades tienen las vulnerabilidades que enfrentan quienes viven en estas zonas? ¿cuáles son las medidas adecuadas para lograr adaptarse a los efectos que habrá como consecuencia de la elevación del nivel mar por el derretimiento del hielo en los polos?
2. ¿Cómo cambia la diseminación de las enfermedades infecciosas por las alteración de los patrones climáticos? Existe evidencia de que algunos patógenos, como el ébola, el VIH y algunos otros, migran fuera de sus hospederos originales, como consecuencia de la destrucción de los hábitats que habían venido ocupando.

Más allá del el popular atractor de Lorenz (efecto mariposa), un enfoque integral de las matemáticas pasa por considerar el análisis de datos, la cuantificación de la incertidumbre y los problemas inversos (inferencia estadística), con la finalidad de reconocer los cambios en patrones climáticos y su impacto sobre la salud y la vida cotidiana en las sociedades, como mencionamos antes. Actualmente, las herramientas de cómputo y estadística, como la inteligencia artificial, las ciencia de datos, el aprendizaje automatizado, han expandido las capacidad de los métodos clásicos en matemáticas para poder inferir, de forma óptima, información útil de las bases de datos disponibles. *Las Matemáticas del Planeta Tierra* sugirieron para orientar estos temas desde una perspectiva matemática actual de la siguiente forma [3, 4]:

- I. Geofísica: El océano, la atmósfera y el clima.
- II. Biología, ecología y medicina: La biosfera, ecología y evolución, epidemiología.
- III. Geografía: Comunicaciones, energía, economía y finanzas, relaciones sociedad naturaleza.
- IV. Riesgo. Cambio climático, amenazas biológicas, predicción de catástrofes y manejo del riesgo.

### Reflexiones y propuestas

Como ilustramos en este trabajo, el tema del cambio climático no es un tema que se haya planteado de forma abstracta. Hace décadas, por no decir siglos [5], que está en las discusiones científicas porque es un tema real, de impacto global y, por sus consecuencias, ineludible para el futuro de la humanidad en su conjunto. Desde 1979 es un tema que es abordado por la comunidad internacional de forma institucional. No tenemos que inventarlo, aunque hay que reconocer que, como institución, llegamos tarde. Si buscamos incidir en la toma de decisiones, la UAM-I tiene el potencial de proponer líneas estratégicas y de largo plazo que se enlacen con las políticas públicas. Lo que hace falta internamente, son políticas académicas que aglutinen a la comunidad académica en un programa o proyecto universitario que se pueda sostener en el largo plazo. El tema es basto, lo que da cabida para que la modelación matemática, y la concurrencias de otras ciencias, impacte positivamente en la investigación sobre el cambio climático.

### Referencias

- [1] C. M. Duarte (2011) CAMBIO CLIMÁTICO, CSIC, Madrid, Catarata.
- [2] The Intergovernmental Panel on Climate Change, <https://www.ipcc.ch>
- [3] H. Karper and H. Engler (2013) MATHEMATICS & CLIMATE, SIAM.
- [4] H. Kaper and C. Rousseau, Eds. (2015) MATHEMATICS OF PLANET EARTH: Mathematicians Reflect on How to Discover, Organize, and Protect Our Planet, SIAM.
- [5] M. Molina, J. Sarukhán y J. Carabias (2017) EL CAMBIO CLIMÁTICO, La Ciencia para Todos 241, FCE.
- [6] MPE2013, Mathematics of Planet Earth 2013, <http://mpe2013.org>
- [7] M. G. Rivera Herrejón y M. Loza Torres, Coords. (2013) CAMBIO CLIMÁTICO: Impactos y previsiones en el medio rural del Estado de México, ICAR, UAEMex y MAPorrúa.
- [8] L. C. Smith (2011) THE WORLD IN 2050: FOUR FORCES SHAPING CIVILIZATION'S NORTHERN FUTURE, Plume.
- [9] United Nations, GLOBAL ISSUES: CLIMATE CHANGE, <https://www.un.org/en/global-issues/climate-change>