

GABRIEL E. GARCÍA PEÑA, YVONNE DÁVALOS DUNNIG Y JULIA TAGÜEÑA PARGA

Adaptarse a la complejidad del calor

En el 2070, millones de personas sentirán climas que la humanidad no ha experimentado en seis mil años. México es de los países que más se calentarán.¹ Es difícil imaginar lo que viviremos, porque el calor no se siente igual en cada rincón de la Tierra. A veces se lo lleva el viento; a veces el aire caliente viene cargado de humedad y otras veces es seco. Los vientos y la humedad chocan con las montañas y producen microclimas diversos. Por ello, adaptarnos para sobrevivir dependerá de las condiciones de cada lugar.

1 Chi Xu *et al.*, “Future of the human climate niche”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 117, núm. 21, mayo de 2020, pp. 11350-11355.



Bosques de cactus columnares en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán y un lagarto cornudo mexicano, *Phrynosoma taurus*, 2003. Fotografías de Gabriel E. García Peña. Cortesía del autor.

Asombrosamente existe, por ejemplo, un sitio semiárido en una región tropical. Se trata del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, que se extiende entre Puebla y Oaxaca. Es árido porque la humedad del aire del Golfo se precipita en Veracruz, en la Sierra de Zongolica, y el aire, ya seco, desciende hacia el Valle, la zona semiárida más biodiversa de América del Norte. Ahí viven cactus pequeñitos y otros grandes como postes y candelabros, magueyes variopintos, matorrales espinosos, aromáticas burseras, palo verde, acacias, mezquites y encinos. Las tunas rojas crecen a cinco metros del suelo en los cactus columnares.² En época de secas, al probarlas, uno aprende que el líquido no fluye de la tuna al cuerpo, sino al revés. La fruta te chupa la saliva. Todo parece absorber agua de donde puede, incluso del aliento. Es de sabios mantener la boca cerrada al explorar una zona árida.

Hace unas décadas Gabriel exploró ese valle. “En equipos bajábamos por los acantilados buscando cactus pequeñitos, mamilarias del tamaño de un pulgar que viven a alturas inaccesibles. Con un calor insoportable, avanzamos un lar-

go trecho entre un acantilado y la pared de la montaña, hasta que encontramos una enorme roca bloqueando el paso. Nos abocamos a moverla con un esfuerzo infructuoso y nos preguntamos si no sería más fácil subir la camioneta sobre la roca. El calor trastocaba nuestra lógica cuando pasaron tres campesinos con unos cuantos pulques en el espíritu. Regresaban de su jornada de trabajo, que había empezado desde las cuatro de la mañana para aprovechar las horas de menos calor. Muy amables, nos ayudaron con su fuerza y juntos logramos mover el monolito. Entonces uno preguntó: ‘¿Ustedes saben en dónde se sube la serpiente de agua que vive en las nubes?’ Nos quedamos atónitos. Mirando el horizonte, respondimos: ‘Se subirá allá, en las montañas’. Con una sonrisa, nuestros salvadores celebraron la respuesta: ‘¡Pues sí, ahí se sube!’, y apuntaban a lo lejos, a una montaña vestida de encinos.”

El Valle de Tehuacán-Cuicatlán tiene una historia biocultural longeva. Los arqueólogos han encontrado pozos, presas y canales con miles de años de antigüedad. Una red de estructuras hidráulicas irrigó el paisaje, desde las montañas hasta el valle. Son un testimonio de que sus habitantes se adaptaron y aprendieron a captar el agua, ex-

2 David Yetman y Alberto Búrquez, *Mexico's Valleys of Cuicatlán and Tehuacán. From Deserts to Clouds*, University of Arizona Press, Tucson, 2023.

traer su sal y distribuir el líquido a lo largo de kilómetros. Formaron diques para contener el escurrimiento y la erosión, lama-bordos o jollas —microclimas de suelo fértil y húmedo para la producción de policultivos de maíz, frijol, amaranto, calabaza, chile, aguacate y agaves.

“Tras dejar el monolito, avanzamos varios kilómetros y encontramos un camino más amplio donde bajaban camiones cargados de grandes troncos. Toneladas de madera extraídas de la montaña, dejando huecos despoblados de árboles en el horizonte verde.” ¿Ahora por dónde subirá la serpiente de agua?



“A la mañana siguiente, desayunamos en La Casa de la Abuela, un comedor manejado por mujeres que atienden comensales desde el alba. Los desayunos son abundantes —caldo de gallina, mole, tasajo, chilaquiles, atole, café de olla y pan dulce—, nutrientes ideales para las personas que regresan de las primeras horas del jornal. Desde el comedor se miran los vestigios de una estación del tren que en el siglo XIX transportaba la producción de azúcar.” Parece insostenible: ¿cómo mantener cultivos de caña si la planta necesita mucha agua para subsistir? Probablemente, el ma-

nejo prehispánico del agua ayudó a impulsar la posterior industria.

En la actualidad, los monocultivos y la deforestación continúan afectando el acervo biocultural de la región. La riqueza de la producción de mezcal se ha industrializado siguiendo estas prácticas devastadoras, amenazando su biodiversidad, su propiedad colectiva y los ecosistemas que los mantienen. Lugares donde se cultivaban los distintos agaves hoy se transforman en monocultivos de unas pocas especies, las más comerciales. Además, estas prácticas agroindustriales son nocivas para la salud de quienes utilizan herbicidas y fertilizantes sin la protección adecuada.

“Ese día, llegamos a un paraje del valle en donde el suelo era duro y blanquecino, y no había nada en el lugar donde debían estar los cactus, árboles y matorrales espinosos. ‘¿Por qué ya no crece nada en esta tierra?’, nos preguntó una señora residente de esos lares, mientras nos vendía tortillas gruesas y deliciosas hechas a mano. Contó que sus abuelos vivían en un vergel de encinos. Había abundante leña, sembraban caña de azúcar y criaban chivos y cabras. Ahora nada crece en el suelo. El agua se resbala y la tierra se seca.”

Sus palabras buscaban a los culpables. La descontrolada tala de árboles, los monocultivos y el sobrepastoreo rompieron el ecosistema —los inmigrantes europeos trajeron animales de pastoreo, como las cabras, que están bien adaptadas a los climas áridos de Irán y Turquía—. En conjunto, estas actividades desnudaron el suelo del valle y lo compactaron, reduciendo la infiltración del agua y aumentando la erosión. La degradación persistente de la biósfera hunde en las carencias a un pueblo y lo vuelve más vulnerable a las sequías y al calor. Preocupa lo que pasará en unos años, cuando el aire se caliente y las llu-

La ciencia nos ayuda a diseñar estrategias de conservación y de sustentabilidad. Tenemos todos, ciudadanos, instituciones y gobiernos, que tomar medidas para proteger el medio ambiente y cuidar los recursos de la única casa de la que disponemos, el planeta Tierra, para las generaciones que siguen.

vias sean más dramáticas por el cambio climático. Entonces caerán lluvias torrenciales y granizo o nada, ni una gota.

A veces la ciencia usa palabras comunes que no tienen el mismo significado que en el lenguaje cotidiano. Usualmente, el calor se mezcla con la idea de la temperatura y se suele hablar del clima del día, cuando en realidad éste es un promedio, en una región y durante un periodo, de los estados diarios del tiempo. Por muchos años se pensó que el calor era un fluido invisible y no fue sino hasta mediados del siglo XIX que descubrimos que se trata de una forma de energía y que la temperatura es una propiedad que mide con un termómetro el equilibrio térmico.

Medio siglo más tarde, con el nacimiento de la física moderna, la mecánica cuántica y la relatividad, entendimos mejor cómo el calor afecta a los materiales. Y en 2021 la Real Academia Sueca de las Ciencias otorgó el Premio Nobel de Física al japonés Syukuro Manabe, al alemán Klaus Hasselmann y al italiano Giorgio Parisi porque “sentaron las bases de nuestro conocimiento sobre el clima de la Tierra y cómo la humanidad influye en él”.³ Sus fundamentales trabajos probaron que el clima es un sistema complejo, cuyo estudio requiere de un enfoque multidisciplinario, y en el cual las partes interactúan y producen propiedades emergentes.

3 “Spotlight on sustainability”, *NobelPrize.org*, 4 de mayo de 2026.

Haber concedido el Premio Nobel a las ciencias de la complejidad fue un parteaguas en el desarrollo de esta disciplina, que desde 2015 se practica en el Centro de Ciencias de la Complejidad (C3) de la UNAM.⁴ El cambio climático se estudia con la participación multidisciplinaria de investigadores de diferentes instituciones de la universidad y mediante la comunicación y retroalimentación con la sociedad, nuestro ecosistema. La ciencia nos ayuda a diseñar estrategias de conservación y de sustentabilidad. Tenemos todos, ciudadanos, instituciones y gobiernos, que tomar medidas para proteger el medio ambiente y cuidar los recursos de la única casa de la que disponemos, el planeta Tierra, para las generaciones que siguen.

Desde hace casi diez mil años, el clima global ha sido benevolente y estable: un periodo cálido dentro de una era de hielo. En este periodo, el Holoceno, se desarrollaron civilizaciones, tecnologías, ciencias y artes. Hace unos cuatro mil años o más, los pueblos mesoamericanos comenzaron a ingeniarlas para sobrevivir en el valle: domesticaron plantas e idearon redes de irrigación, salinas y terrazas de policultivos.⁵ Estas formas milenarias fueron más sos-

4 Aleida Rueda, “Premio Nobel de Física 2021: un antes y un después para los sistemas complejos”, Centro de Ciencias de la Complejidad, UNAM, 5 de octubre de 2021.

5 *Tehuacán-Cuicatlán. Patrimonio de la Humanidad Cultural y Natural*, Secretaría de Cultura, Semarnat, INAH, CONANP, Gobierno de Puebla, Gobierno de Oaxaca, octubre de 2019, pp. 21 y 26.

tenibles que la transformación agrícola industrial y la revolución verde de los años sesenta y ochenta, a base de monocultivos y fertilizantes para alimentar a muchas personas. Estas prácticas modernas pueden destruir los suelos y arrebatar a la biósfera su capacidad de reciclar y capturar el dióxido de carbono, dejando libres en la atmósfera toneladas de este gas, producto de la combustión del petróleo, que mueve nuestras máquinas.⁶ El CO₂ es un gas de efecto invernadero que calienta la atmósfera y, últimamente, desregula el clima.

Ahora, veinte años después de la expedición de Gabriel, en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán se escucha el trabajo de manos que cuidan y se preparan para sobrevivir. Reconstruyen los diques, recolectan el agua, combaten los monocultivos y restauran lo perdido.⁷ La lucha es ardua y requiere leyes de protección, de trabajo colectivo, de ciencia y tecnología. Poco a poco se combinan saberes antiguos y nuevos para devolver lo arrebatado, en unas cuantas décadas, a esta biósfera prehistórica y milenaria. Algunas de estas historias pueden escucharse en el podcast *Historias complejas*.⁸ Las historias integran a la sociedad y la investigación. En el episodio sobre el mezcal, productores y productoras (la relevante participación femenina es muy reciente) de la región de este valle relatan sus experiencias y Alfonso Valiente, investigador del Instituto de Ecología de la UNAM, explica

cómo el monocultivo y la extracción a mansalva pueden terminar con la gran tradición mexicana del mezcal y su riqueza biocultural.⁹ Finalmente, en colaboración con el Instituto de Energías Renovables de la UNAM, se propone una solución: construir sombra, fomentar la diversidad de plantas y, en lugar de quemar leña, usar celdas solares para la destilación.

Así como en Tehuacán, en muchas ciudades y estados de la República está aumentando la temperatura media de la atmósfera y nos estamos calentando más rápido de lo que alcanzamos a entender y de lo que podemos adaptarnos.

La pregunta de la señora —“¿por qué ya no crece nada en esta tierra?”— no surge sólo de ese valle. Es la misma

9 Alfonso Valiente Banuet, Mari Carmen Serra Puche y Antonio del Río, “Mezcal: ciencia, tradición y complejidad”, vol. 13, video, Centro de Ciencias de la Complejidad y Academia Mexicana de Ciencias, 29 de octubre de 2024.

6 Johan Rockström *et al.*, “A safe operating space for humanity”, *Nature*, vol. 461, pp. 472-475, 2009.

7 Víctor M. Toledo y Leonor Solís, “Ciencia para los pobres. El programa ‘Agua para siempre’ de la región Mixteca”, *CIENCIAS*, núm. 64, octubre-diciembre de 2001, pp. 33-39.

8 Conducido por Aleida Rueda y Cecilia Lartigue, en el C3 y en colaboración con la Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM. Disponible en www.c3.unam.mx/PodcastC3.html.



que se hace alguien en Sonora frente a un río seco, otra persona en la Mixteca que carece de agua para los cultivos y otro más en la Ciudad de México bajo el granizo en marzo. Cambian los paisajes, no la pregunta.

El Clímatón comienza en esa pregunta que se repite en cada territorio del país, de una a otra península. La UNAM y el Unicef convocan, mediante el Clímatón, a los jóvenes de dieciséis a veintiséis años, de cualquier entidad de la República, a mirar de cerca los efectos del calentamiento global y el cambio climático en los lugares donde viven y a reunirse para idear soluciones.

En una edición previa del Clímatón, un grupo de jóvenes se propuso comprender y resolver la sobrepoblación de gusanos cogolleros —la principal plaga del maíz a nivel mundial— en los campos mexicanos. El voraz insecto prospera en el calor: mientras más se eleva la temperatura, más se multiplican estos gusanos. Los agricultores utilizan plaguicidas (incluso aquellos clasificados como altamente peligrosos, PAP) para contenerlos. El uso de estas sustancias estropea la calidad de los alimentos que llegan a nuestras mesas y de los suelos donde éstos se cultivan. Por si fuera poco, los PAP ponen en riesgo las vidas de los campesinos, que suelen desmayarse tras usarlas.¹⁰ Ante ello, los jóvenes que concursaron en el Clímatón recurrieron a la piperamida, proveniente de la pimienta negra. Su biopesticida no sólo es eficaz para frenar la plaga, sino que también preserva la salud del ecosistema y de los agricultores.

Otro buen ejemplo del Clímatón son los Laboratorios Campesinos de Suelos, un proyecto ideado por un equipo

de jóvenes a partir de sus experiencias en San Nicolás Totolapan, una zona ejidal en la Ciudad de México. Con los años, los ejidatarios han vendido sus tierras en busca de sustento, lo que ha contribuido a la expansión descontrolada de la urbe en esta parte de la capital. En el Clímatón, este equipo planteó usar un instrumento de cromatología para analizar la calidad de los suelos: con estos resultados, los jóvenes asesoran a los agricultores sobre el tipo de cultivos que podrían prosperar en sus ejidos, de modo que no tengan que venderlos. Sus Laboratorios asumen la defensa del terreno fértil, de la tierra verde, en contra de la plaga del cemento.

Dentro del Clímatón, los jóvenes tienen la oportunidad de identificar las causas y dinámicas del problema local que desean atender. Luego imaginan distintas soluciones que ponen a prueba para determinar cuáles funcionan, y descartar las que no son útiles. Poco a poco, la idea inicial toma forma hasta convertirse en un proyecto que se presenta y se discute con sus pares y con expertos. En este camino, su trabajo se cruza con el de especialistas que llevan años estudiando estos temas.

El Clímatón ha producido acciones concretas contra la deforestación, la escasez de agua, el control de plagas, la desigualdad social, la movilidad, y para promover las energías renovables. Cualquier grupo de jóvenes que detecte en su territorio un problema ocasionado por el cambio climático y haya pensado en una posible solución, puede participar. En los últimos cinco años han participado 835 personas de veintiséis estados del país, con 226 proyectos que demuestran que ya hay soluciones en marcha. 

10 Erick Baena Crespo, “Ciencia joven contra los agrotóxicos”, *Revista de la Universidad de México*, octubre de 2025.