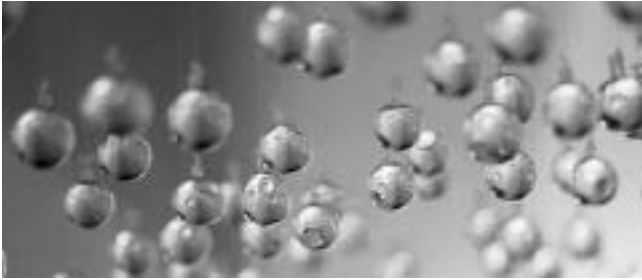


Plexippus y Cleotilde

RAMÓN PERALTA-FABI



El papel que desempeñan las mariposas en la formación de los huracanes es parecido al que manifiestan las posiciones de los planetas en nuestra alegre ventura. Las relaciones que guardan son incuantificables y probablemente irrelevantes, aunque los astrólogos imaginen otra cosa. Con esto podría terminarse este ensayo, excepto que, además de poder tocar los temas de los ciclones, los lepidópteros y el determinismo impredecible de los sistemas complejos, podemos fundamentar nuestra intuición en lo que hoy sabemos del comportamiento de la atmósfera. Para los horóscopos habrá otra oportunidad.

En el proceso de entender la vida, que aún hoy continúa seduciéndonos, uno de los pasos de tránsito fue clasificarla en grupos que compartieran aspectos generales, buscando dar alguna coherencia a su variedad. Aristóteles, como en

tantas otras cosas, estuvo adelantado a su tiempo y estableció los primeros criterios para agrupar a los seres vivos. Desde su infancia en Estágira y a través de sus viajes y estancias en las islas griegas, especialmente en Lesbos, llevó a cabo una cuidadosa recopilación y observación de la fauna y la flora que lo rodeaban. Sobre esta base elaboró una metodología para estudiar a los seres vivos a partir de las semejanzas que van más allá de las que superficialmente presentan; la escuela que dejó a su muerte sirvió de guía para la clasificación por más de dos mil años.

Hasta mediados del siglo XVIII, Linneo propuso los elementos principales de la nomenclatura que seguimos usando hasta el presente para designar y ordenar a los cerca de cuatro millones de especies que reconocemos. La teoría de la evolución propuesta por Darwin cien años más tarde abrió la puerta a una clasificación más racional, que aún sigue construyéndose; los problemas aparecen cuando se quiere forzar a que cada ente quepa en los cajoncitos propuestos. Así, cada ser vivo tiene una designación oficial en latín, con nombre y al menos un apellido, y está ubicado en un árbol genealógico.

La conocida mariposa monarca, que año con año vuelve de Canadá a los bosques michoacanos, es una de las cientos de miles de especies que habitan en México, uno de los países con mayor variedad de fauna y flora en el mundo. La clasificación completa de estas móviles criaturas es: reino, *Animalia*; subreino, *Eumetazoa*; phylum, *Arthropoda*; subphylum, *Uniramia*; clase, *Insecta*; orden, *Lepidoptera*; superfamilia, *Papilionoidea*; familia, *Nymphalidae*; género, *Danaus*; especie, *Danaus plexippus*; subespecie, *plexippus*. Los lepidópteros, uno de los órdenes que introdujo Linneo, incluyen a más de cien mil especies de insectos, entre los que están las desagradables palomillas pardas que se meten por las ventanas cuando la luz está encendida, y las polillas que festinan con la ropa que usamos (poco) para salir.

Las monarcas, *Danaus plexippus plexippus*, tienen alas de color dorado-naranja, con venas y orilla negras, y dos hileras de manchas blancas; extendidas las alas, típicamente miden nueve y medio centímetros. Viven entre unas semanas y unos meses. Antes de morir, fecundadas, dejan (ovipositan) de tres a cuatro huevecillos, hasta completar unos cuatro-

cientos, en plantas (*Aclepias*) de las que se alimentarán al salir de la crisálida. Así nutridas, adquieren el carácter tóxico que las hace evitables a sus potenciales predadores, como algunos de nuestros pájaros favoritos. Migran con las estaciones y las que se van nunca vuelven, pero misteriosamente dejan programado en su código genético que la siguiente generación habrá de volver. Vuelan más de tres mil kilómetros para evitar a los esquiadores invernales y montar el espectáculo natural que ofrecen en los bosques purépechas. El país paga la visita con hojas de oyamel (*Abies religiosa*) y muchos mexicanos pagan pisándolas en su compulsión fotográfica.

Es difícil imaginar que el aleteo desorganizado de millones de bellos y enigmáticos lepidópteros en vuelo tenga algo que ver con un remolino atmosférico que cubre un millón de kilómetros cuadrados y transporta miles de toneladas de agua. Ni una lepidópterofo-bia combinada con una fe guadalupana llevarían a creer que la extinción de las monarcas nos salvaría de las inundaciones que traen consigo los huracanes.

Huracán, de la palabra *furacán*, que en su segundo viaje

Cristóbal Colón escuchó de boca de los nativos, es el nombre común para los remolinos más grandes que se generan en la atmósfera; también se les conoce como ciclones y tifones. *Kamikazi*, el viento divino, es el nombre que se le dio al huracán que en 1281 salvó a los japoneses de la invasión de Khublai Khan, perdiendo la vida cerca de cien mil hombres en un día.

Con extensiones que pueden llegar a los dos mil kilómetros de diámetro, los huracanes tienen vientos espirales, con velocidades superiores a los ciento veinte kilómetros por hora, que convergen acelerándose al *ojo del huracán*, cuyas dimensiones varían entre los veinte y los cien kilómetros. El ojo, dentro del cual la presión disminuye apreciablemente y una calma "chicha" predomina y sorprende, viaja con dirección un tanto errática y velocidades irregulares; éstas oscilan entre los diez y los cincuenta kilómetros por hora. Debido a la rotación de la Tierra, arriba del ecuador, los huracanes giran invariablemente en la dirección contraria a las manecillas de un reloj. El papel central que desempeñan en la dinámica atmosférica proviene de que transportan varios millo-



nes de toneladas de aire por hora, llevan calor de zonas tropicales a otras más frías y distribuyen agua gratuita más allá de la que los compatriotas costeros necesitan.

Quienes se dedican al estudio del clima, es decir, a la predicción de largo plazo, intentan estimar si habrá muchos o pocos huracanes sobre la base de fenómenos globales precursores, como El Niño. En cambio, los meteorólogos intentan anticipar la evolución diaria de un frente frío, de un sistema de baja presión o si una depresión tropical se convertirá en huracán. Cuando ocurre esto último, el fenómeno es bautizado

con un nombre propio, femenino o masculino, alternadamente, y en orden alfabético; Cleotilde, desde luego, corresponderá al tercer ciclón de alguna temporada.

Desde hace más de un siglo sabemos que la atmósfera fluida, como genéricamente llamamos a los líquidos y gases, está descrita por las mismas leyes físicas que rigen el comportamiento de una gota de agua que cae, el humo que asciende hasta diluirse en el cielo o las mesmerizantes olas que llegan a la playa. Puestas en su lenguaje formal, las leyes de la mecánica de los fluidos se resumen en ecuaciones matemáticas que están entre las más



complicadas de la física. En principio, bastaría con conocer el estado de la atmósfera en un momento dado para predecir sin dudas lo que le ocurrirá más tarde. Hasta aquí llega la fantasía de saber si el 25 de abril será tormentoso en el valle de Anáhuac o si el 31 de agosto Cleotilde visitará la isla de Cozumel.

Un problema consiste en caracterizar el estado inicial de manera completa, lo que quiere decir que se debe contar con los datos de la velocidad del aire en todo punto de la atmósfera, al igual que la densidad, la presión, la temperatura y algunas cantidades más; aquí es donde podría uno incluir el aleteo de *D. plexippus*, en un afán mórbido de exhaustividad. Otro problema radica en determinar los mecanismos de interacción entre la atmósfera y sus veleidosos vecinos, como los océanos, la Tierra y el Sol. Por ejemplo, conocer cómo influyen las corrientes marinas, los fenómenos eruptivos o la radiación solar, para formular modelos matemáticos que los representen en las ecuaciones generales. Superados los dos anteriores, viene el reto de resolver las ecuaciones resultantes. Sobre éste basta mencionar la imposibilidad de

encontrar las soluciones en forma exacta y, en consecuencia, aparecen los errores numéricos que ineludiblemente se acumulan. Hoy día, cuando sólo podemos hacer aproximaciones burdas para resolver cada una de estas dificultades, logramos insinuar el futuro atmosférico con un poco más de éxito que las pitonisas en Delfos o que la persistencia; de acuerdo con ésta, 60% de las veces las condiciones atmosféricas de mañana serán como las de hoy.

Como betún en el pastel, hace sólo veinticinco años se demostró que las ecuaciones de los fluidos, aun en casos relativamente simples, poseen la propiedad llamada *dependencia sensible en las condiciones iniciales*. Esto significa que una diferencia ínfima entre dos estados iniciales, con el paso del tiempo, crecerá de modo que estos estados serán cada vez más disímolos.

Es universal la creencia de que pequeños cambios tendrán pequeñas consecuencias; la impuntualidad mexicana es sólo una muestra. Después de todo, la ciencia había mostrado, a través de su éxito, que la premisa no estaba tan errada. Un experimento repetido muchas veces, en condiciones

que parecerían ser las mismas, tiene como resultado un comportamiento muy semejante, pero no idéntico, excepto cuando el objeto es muy sencillo. En realidad nunca repetimos las cosas de la misma manera, porque no tenemos el control absoluto, lo que es especialmente notorio cuando se trata de "sistemas complejos" formados de muchos elementos, como el sistema solar, *Plexippus* o Cleotilde; las moscas de una misma cepa difieren en los detalles de su información genética: cada grano de arena contiene un número distinto de moléculas y están ordenadas de un modo particular. Cada vez que se abre una llave de agua, el chorro, que parece ser el mismo, presenta variaciones temporales y espaciales en la velocidad y la presión que son impredecibles, aun en los experimentos mejor controlados. Ésta es una de las raíces del problema más famoso de la física, el de la turbulencia.

Frecuentemente, por fortuna, las cosas resultan (casi) iguales y se pueden inferir aspectos genéricos que abren la posibilidad de prever y sobrevivir. De otra manera permaneceríamos en el paleolítico y oraríamos la mitad del tiempo de vigilia.

Volviendo a la pregunta tácita del principio sobre ¿qué puede relacionar a una mariposa desorientada del siglo pasado con el ciclón más reciente en el Pacífico?, la respuesta está implícita en el resto. La relación es más académica y con fines ilustrativos, que de interés científico o de preocupación social. No vale la pena intentar cuantificarla en un Centro de Supercómputo o solicitar al Centro Nacional para la Prevención de Desastres un estudio de las medidas de emergencia más convenientes.

En los sistemas complejos el punto de partida detallado es la clave para saber el desenlace preciso. Frente a este horizonte pesimista se abre el panorama optimista de correr el velo que cubre los aspectos genéricos, cualitativos y globales. Más que saber que día dejaré de escribir irremediamente, quiero saber cuántos de los que nacieron hoy llegarán al siglo XXII. 🦋

Ramón Peralta-Fabi
Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

IMÁGENES
Yolanda Gutiérrez. P. 42: *El espejo*, 1999; p. 43: *El señor de la lluvia* 1992 (instalaciones de la exposición *Atlagua*, mayo-julio de 2000).