

# Avance y Perspectiva

Revista de divulgación del CINVESTAV

## El volcán y las mariposas

Karina Galache · Monday, March 14th, 2022

Categorías: [Ciencias Naturales y de la Salud](#), [Zona Abierta](#)

Un proverbio chino dice que “El aleteo de las alas de una mariposa se puede sentir al otro lado del mundo”. Esa frase da lugar a la concepción moderna conocida popularmente como Efecto Mariposa, que se resume a veces como “el aleteo de una mariposa en China puede causar un huracán en Nueva York”.

Esta idea surgió y se popularizó a partir de los trabajos de Edward Norton Lorenz, un matemático que estudiaba la modelación del clima [1]. En su búsqueda encontró que pequeñas variaciones debidas al redondeo de los datos introducidos en la computadora, conducía a predicciones muy alejadas de la realidad. La formulación del efecto establece que si en un sistema dinámico caótico metaestable como, por ejemplo, el tiempo meteorológico, aparece una pequeña perturbación - podría ser el aleteo de una mariposa- sus consecuencias se amplificarían hasta producir un impacto impredecible y enorme. Pero ¿podría ocurrir al contrario? ¿Que la explosión de un volcán en el Pacífico Sur pudiera alterar el aleteo de una levísima mariposa en América del Norte? Aquí un ejemplo:

El 15 de enero de 2022 se dio a conocer la noticia de la explosión del Hunga Tonga Hunga Ha’apai, un volcán submarino situado en el archipiélago del Reino de Tonga, en el Pacífico Sur. Desde hacía varios meses ocurrían explosiones menores, pero el día 15 el volcán explotó con la mayor potencia registrada por instrumentos en la era moderna, al grado que el evento fue observado desde el espacio por varios satélites, en videos e imágenes que hablan por sí mismos de la magnitud del incidente [2]. En Nueva Zelanda, a 3000 kilómetros de distancia de la erupción, testigos informaron que escucharon el estallido.



Figura 1. Imágenes de la explosión del volcán Hunga Tonga Hunga Ha’apai obtenidas por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) de los Estados Unidos.

La lluvia de cenizas cubrió las islas de Tonga y la explosión ocasionó el corte total de las comunicaciones de la isla con el resto del mundo, al romperse el cable submarino que proporcionaba internet al reino de Tonga, como lo atestiguan las imágenes de la red de satélites Copernicus, manejada por la Comisión Europea [3].



Figura 2. Imágenes de la isla Kanokupolu antes y después de la lluvia de cenizas, obtenidas por la red

## Copernicus

La explosión desató una alerta de tsunamis en todos los países con costas en el Pacífico, desde Chile hasta Alaska y desde Japón hasta Australia. La red DART® (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis) de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) de los Estados Unidos y socios internacionales, que cuenta con boyas y vehículos no tripulados distribuidos en todo el Pacífico, detectó las ondas del tsunami generado y envió las alertas a todos los centros de prevención [4], entre ellos al Centro de Alerta de Tsunamis del Gobierno de México [5].



Figura 3. Red DART de la NOAA y Alerta de tsunamis emitida por Protección Civil, México

En internet aparecieron videos de las olas invadiendo las zonas costeras de varios países cercanos a la explosión, como Fiji, o lejanos como Japón, causando daños materiales de diferente cuantía, un derrame de petróleo en las costas de Perú, así como pérdidas humanas aún sin cuantificar. Incluso se observó que la onda causaba un tsunami en el océano Pacífico y también en el Mar Caribe [6].



Figura 4. Imagen del tsunami entrando en las costas de Tonga, después de la explosión del volcán

La onda de choque causada por la explosión del volcán Hunga Tonga Hunga Ha'apai se desplazó a más de 300 m/s. En la Figura 5 se muestra la captura de pantalla de una animación de la expansión de la onda de choque por todo el mundo [6]. ¿Cómo se generó esta animación? A partir de la obtención de datos de estaciones meteorológicas distribuidas por el mundo -como se publicó en la red Twitter- en la que hay varias entradas que registraron la evolución de la onda de choque mientras atravesaba Estados Unidos y Alemania, el día 15 de enero [7].



Figura 5. Toma de la animación de la onda de choque causada por la explosión del volcán. Las líneas azules muestran la expansión de la onda.



Figura 6. Evolución del pico de presión en estaciones escogidas de la red Wunderground en México (estrellas azules).

En la Figura 6 se presentan los datos de la presión atmosférica en algunas estaciones registradas en México en la Red pública Wunderground, del 15 de enero [8]. Se aprecian los picos de la onda de choque causada por la explosión que aparecen en distintos momentos dependiendo de la ubicación de la estación. Se aprecia

que en varias estaciones aparece un segundo pico de menor intensidad, media hora después del primero.

El primer pico de presión se registró en una estación de Ensenada (116° 38' 00" longitud Oeste) antes de las 4 am (hora UTC-8) y el último en Cancún (86° 51' 48" Oeste) cerca de las 9 am (UTC-5). De este modo, la onda de choque atravesó todo México (30 grados de longitud, unos 3300 km), aproximadamente en unas 2 horas, esto es, una velocidad de 1500 km/h.

La magnitud del pico varió en las distintas estaciones; el promedio fue de 2 hPa y se extendió 30 minutos, una variación lo suficientemente alta y súbita como para provocar molestias como mareos o dolor de cabeza a personas especialmente sensibles [9].

Entonces, ¿las mariposas sí fueron afectadas por la explosión del volcán? Bueno, probablemente...

En primavera las mariposas Monarca recorren la mitad del Continente Americano -entre Canadá y México- para completar su ciclo vital. Este recorrido ha sido trazado con gran precisión con datos del contenido de deuterio en las mariposas, adquiridos por la Red Mundial sobre Isótopos en la Precipitación (RMIP) de la Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA) [10]. Adicionalmente, estudios realizados en las mariposas Monarca demuestran que son tan sensibles a las condiciones meteorológicas, que pueden cambiar su patrón migratorio con las condiciones de luz disponible, que a su vez se relaciona con variaciones en la presión atmosférica [11]. Entonces, si las mariposas en América hubieran estado en medio de la migración, la explosión del volcán Tonga podría haber alterado su aleteo.



Figura 7. Rutas migratorias de la mariposa Monarca determinadas con datos de la red RMIP.

Estas observaciones sobre los efectos de la explosión del 15 de enero llevan a otra reflexión: la importancia de las redes de monitoreo. En la explosión del volcán Hunga Tonga, la interacción de distintas redes como la DART de la NOAA, la red europea de satélites Copernicus, y la red ciudadana Wunderground permitió observar, alertar, comprender los diversos hechos y efectos alrededor de este fenómeno. Existen muchas otras redes gubernamentales, científicas y ciudadanas que generan un cúmulo de datos importantes para propósitos que incluyen la detección de terremotos, accidentes o explosiones nucleares, órbitas de cuerpos celestes de posible riesgo para la Tierra, extensión del hielo polar, localización de patrones migratorios, calidad del aire y el agua.

Estas redes tienen en común el despliegue de instrumentos en los espacios que interesa estudiar, la adquisición, transmisión, almacenamiento, lectura, validación y procesamiento de los datos. Esta información puede servir directamente para informar sobre la evolución espacial y temporal de los fenómenos que interesa estudiar y además, servir como entrada para generar modelos que permitan comprender los fenómenos y predecir comportamientos futuros y evaluar los acontecimientos del pasado, como por ejemplo, en un estudio sobre la distribución de isótopos llevada a cabo 30 años después del accidente nuclear de Chernóbil, se usaron datos experimentales disponibles, y modelos meteorológicos [12].

La instrumentación se ha vuelto mucho más accesible para las personas con curiosidad científica o quienes tienen interés de monitorear variables como el tiempo meteorológico, la distribución de partículas suspendidas, como ha ocurrido en las regiones devastadas por incendios forestales, etcétera., lo que aunado con el desarrollo de Internet ha llevado a la creación de redes de monitoreo que no son parte de una entidad científica o de un gobierno, sino que son “redes ciudadanas”. También se ha hecho posible construir instrumentación gracias a los nuevos sistemas de programación modular y microcontroladores integrados como Arduino o similares, que tienen accesorios de bajo costo con los que es posible diseñar y construir, estaciones de monitoreo ambiental o atmosférico con el concepto DYI (do it yourself, o hágalo usted mismo, en inglés). Estas redes ciudadanas hacen posible una suerte de empoderamiento en el que los ciudadanos no dependen necesariamente de la información gubernamental, ni tampoco del acceso a bases científicas especializadas que en ocasiones requieren suscripción o afiliación a una institución científica, para informarse y tomar decisiones; también contribuyen al conocimiento y comprensión de diversos fenómenos, pues los datos están disponibles para todo mundo en Internet, lo que enriquece la información que los científicos obtienen con sus propios instrumentos. La interacción de las redes ciudadanas con las científicas y gubernamentales permite a su vez, que los datos generados por los instrumentos “DYI” se validen, dando paso a la innovación tecnológica y a la formación científica de la sociedad. Se puede afirmar que las redes de monitoreo y el acceso creciente a las tecnologías de fabricación de instrumentos y creación de las redes ciudadanas, permiten la integración ciencia-sociedad a niveles nunca vistos en la historia.

## Perspectiva

Si bien en México existe un Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) dependiente de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en el sur de Tamaulipas no existen estaciones de monitoreo [13]. Por otro lado, se cuenta con el Sistema de Información y Visualización de Estaciones Automáticas (SIVEA) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que genera datos meteorológicos como presión, temperatura, viento, precipitación, humedad, aunque en la zona sur de Tamaulipas únicamente hay dos estaciones activas [14]. Nuestro grupo, conformado por los autores de este trabajo, crea, con un proyecto de Innovación financiado por el Instituto Politécnico Nacional, la Red de Monitoreo Ciudadano de Calidad del Aire de la Zona Metropolitana Altamira, Tampico, Cd. Madero (Red MoCaALTAMA). Como primera etapa se instalaron tres estaciones meteorológicas comerciales de bajo costo y sus datos se han puesto en el sitio libre Wunderground (MoCaALTAMA\_EMA02-IALTAM15, MoCaALTAMA\_EMA01-IALTAM14, MoCaALTAMA\_EMA3-ICIUDA118) para que, en conjunto con los datos originados por otras estaciones cercanas, se pueda hacer un modelo del viento a escala local, en el que se integrará un padrón de datos georreferenciados de las fuentes de emisión de la ZM.



En la segunda etapa del proyecto, que tendrá lugar durante 2022, se construirán estaciones con sensores compatibles con Arduino para monitorear algunos de los

contaminantes descritos en la NOM-172-SEMARNAT-2019 [15] como partículas suspendidas PM2.5, ozono, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>, que junto con los datos meteorológicos permitirán modelar la dispersión de las emisiones generadas en la zona [16].

Cuando se conecte la Red MoCaALTAMA con los sistemas de información a nivel global, se podrá, al fin, saber por qué las mariposas aletean.

## Referencias

- [1] [https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto\\_mariposa](https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_mariposa)
- [2] <https://earthobservatory.nasa.gov/images/149347/hunga-tonga-hunga-haapai-erupts>
- [3] <https://www.copernicus.eu/en/media/image-day-gallery/scars-hunga-tonga-hunga-haapai-volcano-erupti-on-kanokupolu>
- [4] <https://nctr.pmel.noaa.gov/Dart/>
- [5] [https://twitter.com/CNPC\\_MX/status/1482606626586701827/photo/1](https://twitter.com/CNPC_MX/status/1482606626586701827/photo/1)
- [6] <https://www.science.org/content/article/tonga-shock-wave-created-tsunamis-two-different-oceans>
- [7] <https://twitter.com/burgwx/status/1482447133529686019> y <https://twitter.com/drueed/status/1482677559338938372>
- [8] <https://www.wunderground.com/wundermap>
- [9] <https://www.lavanguardia.com/estilos-de-vida/20120427/54285747599/cuando-el-cuerpo-pronostica-el-tiempo.html>
- [10] <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/migracion-mariposa-monarca-danaus-plexippus>, y [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/6321/1/cuadbiod26\\_02.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/6321/1/cuadbiod26_02.pdf) y <https://www.scientificamerican.com/espanol/noticias/las-matematicas-explican-como-se-orienta-la-mari-posa-monarca/>
- [12] Reconstructing the Chernobyl Nuclear Power Plant (CNPP) accident 30 years after. A unique database of air concentration and deposition measurements over Europe, Thomas Hamburger, et al., Environmental Pollution, 216, 2016, 408-418
- [13] <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>
- [14] <https://sinaica.inecc.gob.mx/>
- [15] [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019)
- [16] <https://avanceyperspectiva.cinvestav.mx/estudio-y-modelacion-de-la-calidad-del-aire-en-la-zona-metrop-olitana-tampico-madero-altamira-en-el-sur-de-tamaulipas/>

---

This entry was posted on Monday, March 14th, 2022 at 2:57 pm and is filed under [Ciencias Naturales y de la Salud, Zona Abierta](#)

You can follow any responses to this entry through the [Comments \(RSS\)](#) feed. Both comments and pings are currently closed.