

# Terremoto el 19 de septiembre: sorprendente sí, insólito no

David Bermúdez Rosales y W. Luis Mochán

El Dr. David Bermúdez Rosales es investigador del Departamento de Física del Cinvestav, donde investiga sobre fundamentos de la mecánica cuántica, óptica, información, teoría general de la relatividad y novedosas propuestas sobre fabricación y estudio de "hoyos negros" en el laboratorio mediante analogías ópticas de la gravitación. El Dr. W. Luis Mochán, es investigador titular del Instituto de Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde investiga sobre física de superficies, propiedades ópticas de la materia y espectroscopias ópticas lineales y no lineales. Entre otras distinciones, ha recibido el Premio Universidad Nacional y Premio Nacional de Divulgación de la Ciencia. Es miembro de la Academia de Ciencias de Morelos.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos

## Imposible

- A ver, dime, ¿cuál es la probabilidad de que en México haya tres terremotos con la misma fecha?  
 - Uno, cien por ciento, certeza.  
 - ¡No! Ésa no es la respuesta.  
 - Más bien, ésa no es la pregunta.  
 - ¿Qué quieres decir?  
 - Si el 26 de septiembre de 2022 me preguntas por la probabilidad de tres terremotos con la misma fecha, te contesto que el 19 de septiembre (19S) de 1985 a las 7:17 hubo un terremoto de magnitud 8.1 con epicentro cerca de La Mira, Michoacán, el 19S de 2017 a las 13:14 hubo un terremoto de magnitud 7.1 cerca de Chiautla de Tapia, Puebla, y hace apenas unos días, el 19S de 2022 a las 13:05 hubo un terremoto de magnitud 7.7 cerca de Coalcomán, Michoacán, y por lo tanto, ya hubo tres terremotos con la misma fecha, por lo que su probabilidad es 100%.  
 - Claro, pero eso no es lo que quiero saber.  
 - Entonces, tendrías que formular tu pregunta correctamente.  
 - ¡Ay, qué pedante! Pero acepto. Si no supiéramos ya cuándo fueron estos tres terremotos, cuál sería la probabilidad de que los tres hubiesen sucedido el 19S.  
 - Eso es fácil. Cada año, ignorando los bisiestos, tiene 365 días. Luego, suponiendo, ante nuestra ignorancia, que cualquier día puede temblar con la misma probabilidad que en cualquier otro día, ésta sería  $P=1/365$ . Si suponemos además que un sismo no tiene nada que ver con los otros dos, la probabilidad de que los tres sismos caigan en 19s es el producto  $P^3 = (1/365)^3 \times (1/365) = 1/48627125 \approx 0.000,000,02 \approx 0.000,002\%$ .  
 - O sea, ¡es casi imposible! Debe haber algo especial, quizás maldéfico asociado a dicha fecha.  
 - No. La probabilidad de que las fechas de tres sismos coincidan con el 19S es la misma que la probabilidad de que el primero sea el 31 de enero, el segundo el 18 de mayo y el tercero el 4 de octubre, o cualesquiera otras tres fechas. Cualquier combinación dada de fechas es improbable, y sin embargo, cualquier conjunto de tres sismos corresponderá a algún conjunto de fechas. Las casualidades suceden, todo el tiempo. Calcula, por ejemplo, la probabilidad de que tu mamá conociera a tu papá de entre los miles de millones de hombres en el planeta. A pesar de ser prácticamente imposible, se conocieron, tuvieron un hijo y, aquí estás platicando conmigo.

## El tuit

- Ahora recuerdo un tuit publicado el 19S pasado por Sergio Sarmiento (@SergioSarmiento, ver referencia 1), un comunicador mexicano que hizo la misma pregunta al Dr. José Luis Mateos (@jlmateos), especialista

en sistemas complejos del Instituto de Física y del Centro de Ciencias de la Complejidad de la UNAM, quien de botepronto contestó: Una por 133,225. Expresado de otra forma, 0.000751%.  
 - Sí, vi ese tuit que se volvió viral rápidamente y que (al momento de escribir estas líneas) ha recibido más de 35,000 me gusta's y ha sido retuiteado más de 12,000 veces.  
 - Ese resultado es mucho mayor que el previo de dos millonésimas de por ciento.  
 - Sí, pero en realidad responde a otra pregunta. El 19S no sería una fecha especial si no fuera por el terrible terremoto del 1985. El resultado del Dr. Mateos corresponde a la probabilidad de que las fechas de tres sismos coincidan entre sí, sin importar en qué día de qué mes lo hagan. El primero de los tres sismos tendrá alguna fecha con certeza, así que (mientras no haya sido el 29 de febrero de algún año bisiesto) la pregunta se puede reformular como la probabilidad de que las fechas de los otros dos sismos coincidan con la del primero, y ésta sería entonces  $P^2 = (1/365) \times (1/365) = 1/133,225$ , robando todo el misterio y magia de dicho número.  
 - Bueno, será más grande que el resultado previo, pero aún es un número muy pequeño. Tendrás que aceptar que sigue siendo extraordinario que hayan coincidido estos tres terremotos.

## Los cumpleaños

- No añ, pues sigue habiendo algo mal en el planteamiento. Desde 1985 hasta la fecha no ha habido sólo 3 terremotos, sino muchos terremotos. Si tres de ellos no coinciden, siendo tan improbable que lo hagan, quizás otros tres sí coincidan. Es análogo a la paradoja del cumpleaños (ver referencia 2).  
 - No entiendo.  
 - Dime, ¿cuál es la probabilidad de que en tu grupo escolar dos compañeros tengan el mismo cumpleaños?  
 - Hmm. Ahora que lo mencionas, Alicia y Beto cumplen años el mismo día.  
 - ¿Y no te sorprende?  
 - Sí. En analogía al cálculo de los sismos, si no los conociera, diría que la probabilidad de que Beto tenga el mismo cumpleaños que Alicia es  $1/365 \approx 0.27\%$ . Sólo en uno de cada 365 grupos como el mío debería haber una coincidencia como ésta.  
 - Estás equivocado, pues si el cumpleaños de Beto no coincidiera con el de Alicia, podría coincidir el de Carolina, o el de Daniel... o el de Verónica.  
 - Ah, claro. Como en mi grupo somos 23, la probabilidad es

$23/365$ ... no, no, no debo volver a contar a Alicia, así es que el resultado correcto es  $22/365 \approx 6\%$ . Igual, no es muy probable.  
 - Sigues errando y la respuesta correcta te sorprenderá. Dime, ¿cuál es la probabilidad de que Beto tenga un cumpleaños distinto al de Alicia?  
 - Déjame pensar. El año tiene 365 días, uno de los cuales es el cumpleaños de Alicia, así que Beto podría cumplir años cualquiera de los otros 364 días, por lo tanto, la probabilidad de no coincidir es  $364/365$ , casi 1.  
 - Y la probabilidad de que Carolina no coincida con Alicia ni con Beto.  
 - A Carolina le quedarían 363 fechas disponibles para no coincidir, con una probabilidad  $363/365$ , un poco menor.  
 - Entonces, ¿cuál es la probabilidad de que ni Alicia ni Beto ni Carolina tengan el mismo cumpleaños?  
 - Pues tendría que ser el producto  $(364/365) \times (363/365) = (365/365) \times (364/365) \times (363/365)$ .  
 - Entonces, ¿cuál es la probabilidad de que ningún cumpleaños coincida con ningún otro?  
 - Ya voy entendiendo. Sería  $(365/365) \times (364/365) \times (363/365) \times (362/365) \times (361/365) \dots \times (343/365)$ . Espérame un minuto para hacer las divisiones y multiplicaciones... ya, 0.4927...  
 - Exacto. La probabilidad de que dos o más compañeros tengan el mismo cumpleaños es entonces el complemento,  $1 - 0.4927 = 0.5073$ , casi 51%, ¡más que un medio! Entonces en más de la mitad de los grupos de 23 personas hay al menos dos personas con el mismo cumpleaños, más aún en grupos mayores. Déjame hacer un programa para graficar y mostrarte cómo varía esta probabilidad como función del número de compañeros. Ya está (ver figura 1). Nota cómo la probabilidad crece rápidamente

para grupos de apenas 40 compañeros ya supera el 90%, a pesar de que el año tiene muchísimo más que 40 días.

## ¿Y los terremotos?

- Ciertamente, la probabilidad y la estadística pueden darnos sorpresas, pero hablábamos de terremotos.  
 - Primeramente debemos definir qué entendemos por terremoto. El Servicio Sismológico Nacional mantiene una maravillosa base de datos de los sismos con epicentro en México registrados desde 1900 hasta la fecha (ver referencia 3). Dicha base contiene más de 260 mil registros. La mayor parte de éstos, 244739, corresponden a años posteriores a 1985, en que, por razones fáciles de entender, se expandió la red de sismómetros y acelerómetros sobre todo el territorio nacional. De los sismos registrados, a poco más de 240 mil se les ha podido calcular su magnitud. Como puedes imaginar, habiendo tantos sismos, la probabilidad de coincidencias en fechas es enorme.  
 - Pero no todos los sismos son terremotos.  
 - Claro, y los sismos más pequeños son más probables (ver figura 2). Si de manera, quizás un poco arbitraria, definimos terremoto como un sismo de magnitud mayor o igual a 7, resulta que entre el 19S de 1985 y el 19S de 2022 se han registrado 23 terremotos.  
 - ¡Como el número de compañeros en mi clase!  
 - Y, por tanto, la probabilidad de tener dos terremotos en la misma fecha ¡es mayor al 50%! Igual que la coincidencia de cumpleaños en tu grupo.  
**Coincidencia de tres**  
 - Pero hemos tenido tres terremotos en la misma fecha.  
 - Ciertamente, la coincidencia de tres te-

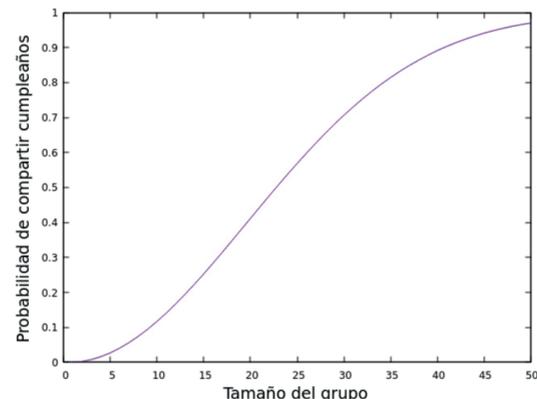


FIGURA 1. PROBABILIDAD de que dos o más compañeros de un grupo compartan cumpleaños como función del tamaño del grupo.

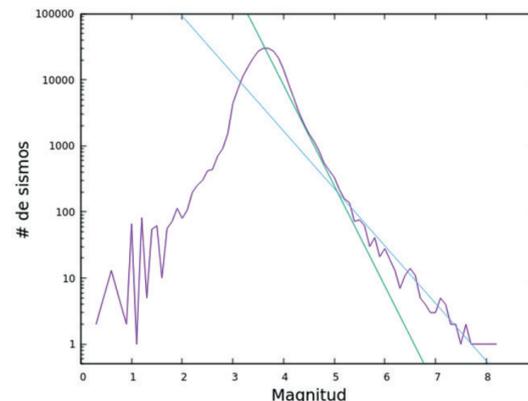


FIGURA 2. NÚMERO N de sismos detectados en México desde el 19 de septiembre de 1985 como función de la magnitud M en pasos de 0.1. Note la escala logarítmica. Hay pocos sismos pequeños pues muchas veces pasan desapercibidos y no se registran. A partir de la magnitud 4, el número de sismos decae exponencialmente conforme aumenta su magnitud. Las dos líneas rectas corresponden a exponenciales decrecientes de la forma  $N \propto \exp(-3.5M)$  y  $N \propto \exp(-2M)$  ( $\propto$  significa es proporcional y  $\exp$  representa la función exponencial).

remotos es más improbable que la de dos. Podemos entonces modificar ligeramente la solución hallada arriba y calcular la probabilidad de que tres de los 23 terremotos hayan coincidido, o que tres de los 23 compañeros de tu grupo tengan el mismo cumpleaños. Ya calculamos arriba la probabilidad de que no haya coincidencias. Calculemos ahora la probabilidad de que haya exactamente una coincidencia. Para esto, pidámosle primero a Verónica que se retire del grupo y volvamos a calcular la probabilidad de que no haya coincidencia alguna en los cumpleaños de los restantes.  
 - ¿Sería  $(365/365) \times (364/365) \times (363/365) \times (362/365) \times (361/365) \dots \times (344/365)$ ?  
 - Exacto, sólo quitamos el último término  $(343/365)$  de la fórmula que teníamos. El resultado es 0.5243. Ahora, regresemos a Verónica al grupo. ¿Cuál es la probabilidad de que su cumpleaños coincida con el de alguno de sus compañeros?  
 - Pues tiene 22 compañeros y su probabilidad de cumplir años en cualquier fecha dada, es  $1/365$ , así que coincidiría con probabilidad  $22/365$ .  
 - Que multiplicada por el resultado previo nos lleva a la probabilidad  $0.5243 \times 22/365 \approx 0.03160$  de que el cumpleaños de Verónica coincida con el de algún compañero y que todos los demás difieran.  
 - Pero, ¿por qué escogiste a Verónica?  
 - Por ser la última de la lista, pero pude haber escogido a cualquiera de los 23 compañeros, así que el resultado anterior deberá multiplicarse por 23. Finalmente, debe

dividirse entre 2 para no contar doble, puesto que el caso en que el cumpleaños de Verónica coincida con, digamos, el de Daniel no es distinto a aquel en que el de Daniel coincide con el de Verónica. La probabilidad de que exactamente dos terremotos en los últimos 37 años hubiesen caído en la misma fecha es la misma que la probabilidad de que dos compañeros de tu grupo compartan cumpleaños,  $0.03160 \times 23 / 2 = 0.3634$  (compañero, querido lector, con el resultado previo, 0.5073, ¿por qué difieren?). Si la sumamos a la probabilidad de que no hubiese coincidencia alguna, obtendremos la probabilidad  $0.4927 + 0.3634 = 0.8561$  de que o bien no haya coincidencias, o que exactamente dos eventos coincidan. Su complemento,  $1 - 0.8561 = 0.1439 = 14.39\%$ , es la probabilidad de que suceda cualquier otra cosa, es decir, que coincida la fecha de 3 o más terremotos de entre los 23 que hemos tenido desde 1985.  
 - ¡Catorce por ciento! ¡No es una cantidad despreciable!  
 - No, por este tipo de razones es que coincidencias que parecen improbables suceden continuamente. Consultando la base de datos del Sismológico vemos que, relajando la definición de terremoto para admitir sismos con magnitud 6.5 o mayores, hemos tenido terremotos que coinciden en fecha hasta cuatro veces, como el 24 de octubre de los años 1905, 1980, 1981 y 1993, el 7 de junio de 1911, 1918, 1976 y 1982 o el 28 de agosto de 1955, 1973, 1989 y 1995.  
 - Combinatoria  
 - Pero hay algo que no me convence aún. No es lo mismo que pregunte-

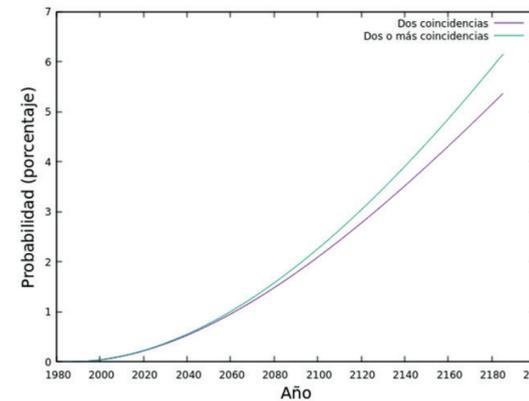


FIGURA 3. PROBABILIDAD de que dos terremotos de magnitud 7 o mayor hubiesen caído en el 19S después del terremoto de 1985 como función del año en que lo preguntáramos, como se hubiera calculado en 1985. La curva de abajo corresponde a exactamente dos terremotos más. La de arriba a al menos dos terremotos más.

mos por terremotos que se repitan en cualquier fecha a preguntar por terremotos que se repiten en una fecha específica.  
 - Ciertamente, después del terremoto de 1985, el 19S se convirtió en una fecha especial para nosotros, en la que recordamos lo sucedido y hacemos simulacros para mantenernos preparados. Imaginemos entonces que estuvieramos en el 1985, acabara de pasar el gran terremoto y nos preguntáramos cuál es la probabilidad de que hubiera otros dos terremotos en la misma fecha durante los siguientes 37 años, antes de que concluya el año 2022.  
 - Necesitaríamos saber cuántos terremotos esperar.  
 - Claro. Para esto, consultemos de nuevo la base de datos del Servicio Sismológico, la cual registra 63 terremotos entre 1900 y 1985 con magnitud mayor o igual a 7. Eso nos da un promedio de 0.74 terremotos por año, alrededor de 3 cada cuatro años. Extrapolando a los 37 años del periodo 1985-2022 podríamos haber esperado  $37 \times 0.74 = 27.38$  terremotos.  
 - Pero hace rato me dijiste que habían sido 23.  
 - Sí, con números tan pequeños debes esperar grandes fluctuaciones relativas, siempre hay incertidumbres, que tendríamos que calcular para completar nuestro pequeño estudio. Usamos pues la información disponible en 1985 para este ejercicio. Supongamos además que los terremotos llegan al azar, sin correlación entre ellos, pero cumpliendo con este promedio en tiempos largos, como en un proceso de Poisson (ver referencia 4), la llamada ley de los sucesos raros.  
 - Pero eso no es cierto, después de un terremoto hay muchas réplicas, otros sismos que pueden ser grandes y que no son independientes del originario.  
 - Ciertamente, los sismos llegan en grupos, pero las réplicas son cada vez menores y los grandes terremotos suelen ser originados en otras fallas, en otras placas tectónicas (ver referencia 5) o en regiones alejadas de las mismas placas, por lo que son prácticamente independientes unos de otros. Además, estamos haciendo estimaciones, no cálculos exactos.  
 - Bien. Prosigue.  
 - Entonces, la probabilidad de que en un día dado haya un terremoto, ya sea el 19S o cualquier otro día, es  $p=0.74/365 \approx 0.002$ , y la probabilidad de que en dicho día no haya un terremoto es  $q=1-p \approx 0.998$ . La probabilidad de que hubiese un terremoto el 19S de 1986, otro el 19S de 1987 y ningún terremoto el 19S de los 35 años siguientes 1988, 1989...2022 es entonces  $p^2$

## Conclusiones

Este pequeño diálogo ilustra cómo, para tener una respuesta clara, es necesario antes que nada tener una pregunta precisa. La probabilidad de tener tres terremotos cuyas fechas coincidan depende de a qué clase de sismos llamamos terremotos, de cuánto tiempo esperaremos dicha coincidencia, de si fijamos o no dicha fecha de antemano, y de cómo formulamos la pregunta. Ha habido múltiples opiniones encontradas y múltiples estimaciones de esta probabilidad, como se puede constatar en redes sociales, periódicos, videos y noticieros (ver re-

ferencia 7). Los números van desde cuatro diezmilésimas de por ciento. Pero los terremotos podrían ocurrir en cualquier otra pareja de años, como podrían ser (1986,1988), o (2000,2015). El número total de parejas de años que podemos elegir en un lapso de 37 años es el número de combinaciones de 37 elementos tomados de 2 en 2, denotado por  $C_{37}^2$ , representado en muchas calculadoras mediante la tecla nCr. Por cierto, hay un área de las matemáticas llamada Combinatoria dedicada al estudio de esta clase de problemas relacionados con contar de cuántas formas podemos escoger, acomodar u ordenar tantos elementos de un conjunto de tantos otros elementos (ver referencia 6). El resultado es  $37 \times 36 / 2 = 666$  (y sí, lo revisé dos veces). Por lo tanto, la probabilidad de tener en 37 años otros dos terremotos en la misma fecha que el gran terremoto de 1985 es  $666 \times 3.73 \times 10^{-6} \approx 0.00248 = 0.248\%$ , alrededor de una parte en 400. Dicha probabilidad crecería rápidamente si nos esperáramos más tiempo, como ilustra la figura 3.

## Agradecimientos

WLM agradece el apoyo de la DGAPA-UNAM mediante el proyecto IN109822.

*Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses con vencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.*



ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)  
 ¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTACTANOS: [editorial@acmor.org.mx](mailto:editorial@acmor.org.mx)

## REFERENCIAS

- Tuit de Sergio Sarmiento, <https://bit.ly/3UwHtVl>.
- Paradoja del Cumpleaños, Wikipedia, <https://bit.ly/3ScxoCz>.
- Catálogo de sismos, México. Universidad Nacional Autónoma de México, Inst. de Geofísica, Servicio Sismológico Nacional (2022) <https://bit.ly/3r3hcaS>, doi:10.21766/SSNM/EC/MX.

- Proceso de Poisson, Wikipedia, <https://bit.ly/3faHXr7>.
- Placa tectónica, Wikipedia, <https://bit.ly/3DKG4Md>.
- Combinatoria, Wikipedia, <https://bit.ly/3R7Kla3>.
- Ver por ejemplo a Égar @ecentnomtz en Twitter, <https://t.co/AIn02ncFH6>, Jaime Rivera @JaimeRiveraV en Twitter, <https://bit.ly/3SaRvkr>, Arturo Erdély @ArturoEderly en Twitter <https://t.co/1sdjzY4Fse>, Pensamiento mágico e ignorancia alrededor de los sismos en México, Mauricio Schwarz, <https://bit.ly/3S3QJWx> y otros.
- Guía del autoestopista galáctico (The hitchhiker's guide to the galaxy), Douglas Adams (<https://amzn.to/3Suauq8> en Amazon).