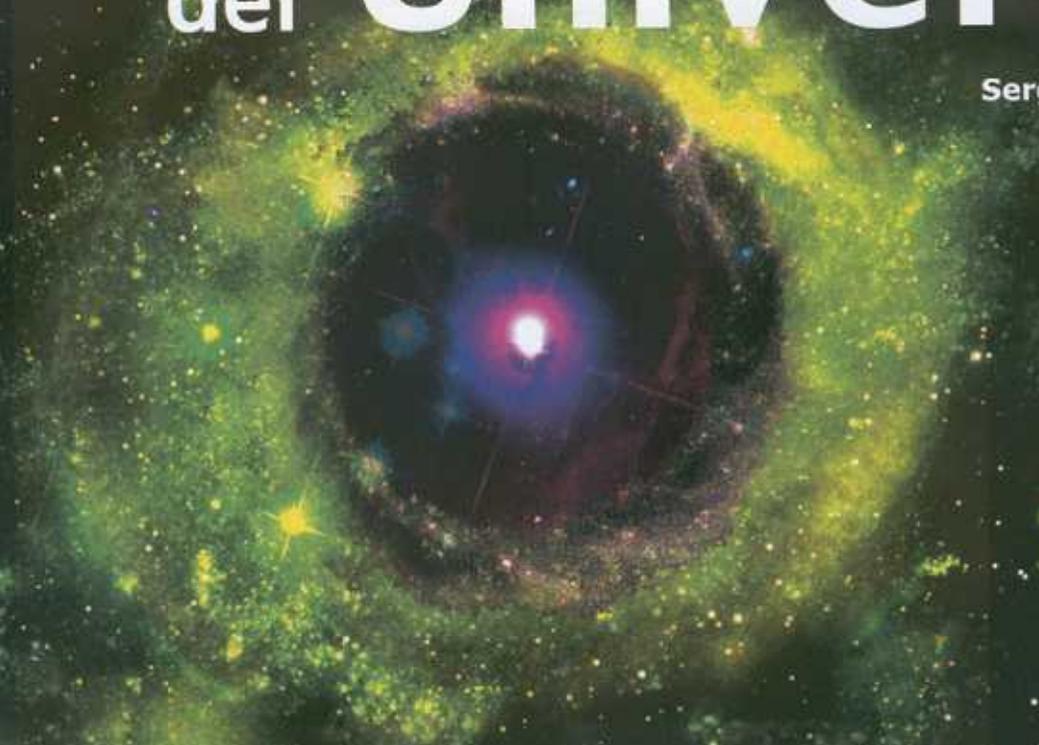


El lado

OSCURO

del Universo

Sergio de Régules



La luz de unas estrellas que explotaron hace miles de millones de años reveló recientemente que 75% del Universo está hecho de una forma de energía nunca antes detectada, que produce repulsión gravitacional y acelera la expansión del Universo. ¿Qué será?

ALGUIEN SE acerca por la oscura ladera de la montaña. ¿Cuántos son? No lo sabemos. Sólo se ve una lucecita que sube y baja por el camino de tierra, aumentando de brillo. Nosotros somos cuatro, pero con 17 años de edad en promedio no nos sentimos muy poderosos, la verdad. A la luz de nuestra fogata, somos claramente visibles para los visitantes inesperados.

Cada valeroso expedicionario compara el brillo aparente de la lucecita con el de la linterna que lleva en la mano. La comparación da un estimado vaguísimo de la distancia: ¿unos 30 metros?, ¿o quizá 50? Esperamos con la vista clavada en la lucecita que se acerca, se acerca...

—Buenas noches —dicen tres amables lugareños que siguen de largo sin hacernos más caso.

—Buenas...

¡Qué alivio!

Dime cuánto brillas y te diré a qué distancia estás

Cuando no podemos acercarnos a un objeto luminoso (¡o no nos atrevemos!), es posible obtener mucha información analizando su luz. La suposición más sencilla es ésta: si brilla mucho, está cerca; si brilla poco, está lejos. Pero la cosa no es tan simple: ¿qué tal si está lejos, pero su brillo *intrínseco* es altísimo? La luminosidad *aparente* de semejante objeto podría ser mayor que la de otro que está más cerca pero es más tenue, y concluiríamos erróneamente que el primero es el más cercano. En aquel campamento, y apremiados por el miedo, nuestros cerebros optaron instintivamente por la solución simple: suponiendo que la linterna de nuestros visitantes tenía el mismo brillo intrínseco que las nuestras, lo tenue de la lucecita misteriosa nos daba una idea de la distancia. Desde luego, todo esto lo hicimos automáticamente, igual que calculamos sin saber física, cuánto impulso

imprimirles a las piernas para saltar de un lado al otro de un arroyo.

Los astrónomos usan el mismo método para determinar las distancias más grandes en el Universo —las que median entre las galaxias— pero lo hacen con más conocimiento que mis amigos y yo. Pueden medir luminosidades con toda precisión y saben exactamente cuánto se atenúa la luz con la distancia (un mismo objeto al doble de la distancia se ve cuatro veces más tenue; al triple, nueve veces más tenue y al cuádruple, 16...). Lo único que necesitan para saber a qué distancia se encuentra una galaxia es localizar en ella



Edwin Hubble (1889-1953).

algún objeto cuya luminosidad intrínseca se conozca: un objeto que sirva como patrón de luminosidad.

Lo que está escrito en el cielo

Usando el primer patrón de luminosidad que sirvió para medir distancias intergalácticas —las estrellas de brillo variable conocidas como *cefeidas*— el astrónomo estadounidense Edwin Hubble calculó en 1929 las distancias de alrededor de 90 “nebulosas espirales”, como se llamaba en esa época a lo que hoy conocemos como galaxias. Luego comparó sus datos con los estudios de velocidad de las galaxias, que habían hecho otros astrónomos.

Resulta que la luz de una galaxia también puede decirnos a qué velocidad se acerca o se aleja de nosotros. Una moto que pasa suena más agudo cuando viene y más grave cuando se va. Por una razón parecida, la luz de una galaxia se ve más roja cuando ésta se aleja y más azul cuando se acerca. El grado de enrojecimiento de la luz de una galaxia debido a la velocidad con que se aleja se llama *corrimiento al rojo*, y se puede medir con precisión. Los astrónomos de principios del siglo XX esperaban encontrar la misma proporción de nebulosas espirales con corrimiento al rojo (que se alejan) que con corrimiento al azul (que se acercan). En vez de eso descubrieron que todas (menos las más cercanas) presentan corrimiento al rojo. Es decir, todas las galaxias se están alejando entre sí.

Cuando, en 1929, Hubble comparó los datos de corrimiento al rojo con los de distancia, se llevó el susto de su vida: los datos se acomodaban en una bonita recta (bueno, más o menos), lo cual indica que cuanto más lejos está una galaxia, más rápido se aleja y que la relación entre distancia y velocidad es una simple proporcionalidad directa: una galaxia al doble de la distancia se aleja al doble de la velocidad, una al triple, al triple... Ésta es la llamada *ley de Hubble*, y se interpreta como signo de que el Universo se está expandiendo.

El descubrimiento de Hubble condujo al poco tiempo a la teoría del *Big Bang* del origen del Universo. Si las galaxias se están separando, en el pasado estaban más juntas. En un pasado suficientemente remoto estaban concentradas en una región muy pequeña y muy caliente —y no eran galaxias, sino una mezcla increíblemente densa de materia y energía—. Hoy en día la huella de esas densidades y temperaturas aún debería estar rondando por el cosmos, pero ya muy diluida, en forma de una

radiación muy tenue distribuida por todo el espacio. En 1965, Arno Penzias y Robert Wilson, dos físicos que estaban probando una antena de comunicación satelital, detectaron un ruidito persistente que no podían explicar. Éste resultó ser el rastro del violento origen del Universo. Hoy se llama *radiación de fondo*, y sirvió para convencer a casi todo el mundo de la teoría del *Big Bang*.

El modelo del *Big Bang* se fue ajustando con los años. Por ejemplo, a principios de los años 80, los cosmólogos (empezando por el físico Alan Guth) añadieron al modelo el concepto de *inflación* para explicar los resultados de ciertas observaciones. Según la hipótesis inflacionaria, en la primera fracción de segundo una fuerza de repulsión muy intensa hizo que el embrión de Universo pasara de un tamaño menor que el de un átomo al de una toronja en un tiempo brevísimo. Este *modelo inflacionario* resolvía tan

bien las dificultades de la teoría original del *Big Bang* que no tardó en convertirse en el favorito de los cosmólogos.

Poco o mucho

Una de las predicciones más importantes del modelo inflacionario atañe a la geometría del espacio. Caben tres posibilidades. Si el espacio es *plano* (¡cuidado!: no quiere decir que sea de dos dimensiones, sino sólo que satisface los postulados de la geometría euclidiana, llamada también geometría plana), los ángulos de un triángulo trazado entre cualesquiera tres puntos sumarán 180 grados.

Esto es lo que todo el mundo hubiera esperado antes de 1916, cuando Albert Einstein publicó la teoría general de la relatividad, que es la que usan los cosmólogos para describir la forma global del Universo. Esta teoría permite otras dos posibilidades insólitas: si el espacio tiene *curvatura positiva*, como una esfera, los

ángulos de un triángulo suman más de 180 grados, si tiene *curvatura negativa*, como una silla de montar, menos. Todo depende de qué tan fuerte jale la fuerza de gravedad total del Universo, o en otras palabras, de cuánta materia y energía contenga éste en total:

1. poca materia y energía = curvatura negativa
2. ni mucha ni poca = geometría plana
3. mucha = curvatura positiva

El asunto es importante porque de la cantidad de materia y energía (más precisamente, de su densidad total) dependía también que el Universo siguiera expandiéndose para siempre (casos 1 y 2) o bien que un día la expansión se detuviera y se invirtiera (caso 3), como una piedra que se lanza hacia arriba y que empieza a bajar al llegar a cierta altura. Y por la misma razón que la piedra: la atracción gravitacional de toda la materia y energía del Universo.



Ilustración: Aline Guevara Villegas

Si bien las observaciones indicaban que había tan poca materia que el Universo debía tener curvatura negativa, la teoría —el modelo inflacionario que tanto les gustaba a los cosmólogos— exigía que el cosmos fuera de geometría plana.

De una cosa no cabía la menor duda: en cualquiera de los tres casos, la fuerza de gravedad —una fuerza de atracción, que tira hacia dentro, digamos— frenaba la expansión del Universo.

¿Dónde quedó el Universo?

Para mediados de la década de los 90 la cosmología se encontraba en la siguiente situación:

- Según el modelo inflacionario, el Universo debía contener suficiente materia y energía para que la expansión se fuera deteniendo sin nunca parar por completo (geometría plana).
- Unos estudios de la radiación de fondo corroboraban observacionalmente que el Universo es de geometría plana, y sanseacabó.
- Los recuentos del contenido de materia y energía del Universo decían categóricamente que éstas no alcanzaban ni de lejos para producir la geometría plana que exigían el modelo inflacionario y los estudios de la radiación de fondo.

Por lo tanto, concluyeron los cosmólogos, faltaba una parte del Universo. De hecho, faltaba la mayor parte: alrededor del 75% de la materia o energía necesaria para explicar que el Universo cumple con una geometría plana. ¿Dónde estaba?

Grandes explosiones, tenues lucecitas

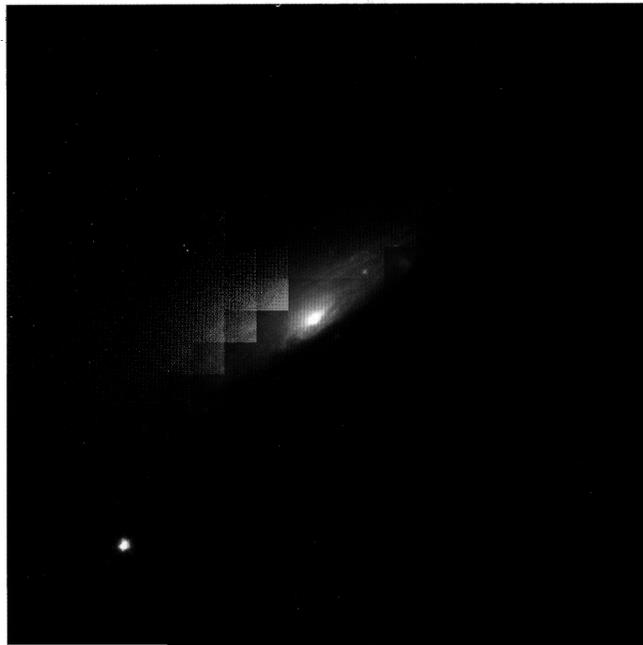
El 15 de octubre de 1998 el telescopio Keck II, situado en la cima del volcán Kilauea, en Hawái, escudriñaba un retazo de cielo en el área de la constelación de Pegaso. Hacía unas semanas, los científicos del Proyecto de Cosmología con Supernovas (*Supernova Cosmology*

Project), dirigido por Saul Perlmutter, habían tomado fotos de las galaxias de la misma región como referencia. Al comparar las nuevas imágenes con las de referencia, vieron que en una galaxia había aparecido un punto brillante. Era una *supernova*, una estrella que hizo explosión —justo lo que estaban buscando—. La llamaron Albinoni, como el compositor italiano del siglo XVIII (Perlmutter toca el violín).

Nueve días después, el grupo —un equipo internacional de investigadores—

usó el Telescopio Espacial Hubble, además del Keck II, para medir la luminosidad aparente de Albinoni, así como el corrimiento al rojo de la galaxia en la que se localiza. Al cabo de varios días confirmaron que se trataba de una supernova de tipo Ia con un corrimiento al rojo de 1.2, lo que indicaba que hizo explosión hace miles de millones de años.

Este grupo, así como el Equipo de Búsqueda de Supernovas de Alto Corrimiento al Rojo (*High-z Supernova Search Team*), dirigido por el astrónomo Brian Schmidt, se dedica a buscar supernovas de este tipo por todo el cielo. Las supernovas Ia son muy intensas, lo que permite verlas desde muy lejos, y alcanzan todas aproximadamente el mismo brillo intrínseco, por lo que son excelentes patrones de luminosidad. Hoy en día, las supernovas Ia son el patrón más usado para determinar distancias a galaxias muy lejanas. Los dos equipos de cosmología con supernovas comparan la distancia de las



Supernova SN 1994D vista con el Telescopio Espacial Hubble. La supernova (tipo Ia) es la estrella brillante en la esquina inferior izquierda.

Foto: High-Z SN Search/Supernova Cosmology

supernovas Ia que descubren con el corrimiento al rojo de sus galaxias para estudiar el pasado de la expansión del Universo.

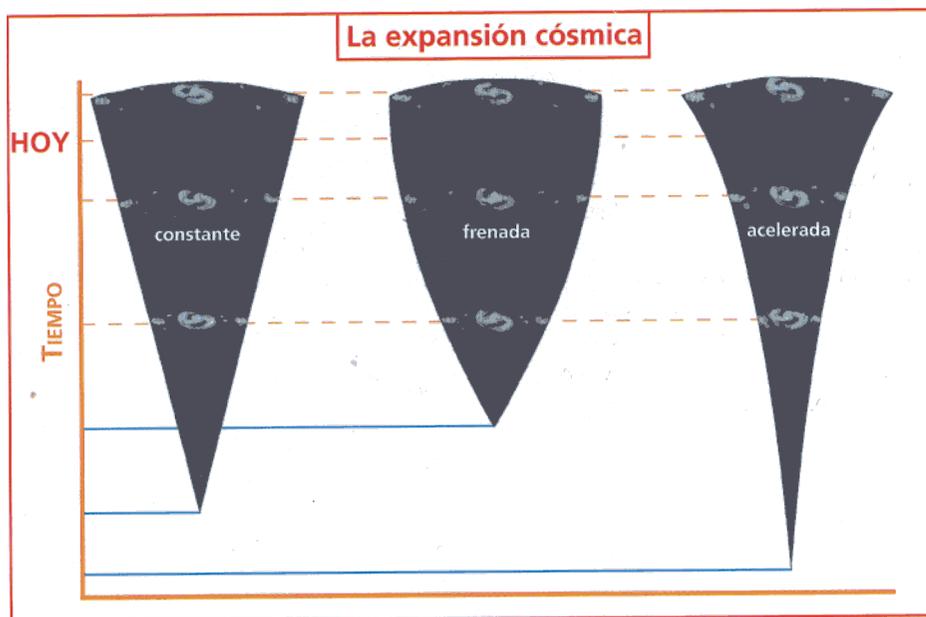
Expansión acelerada

En astronomía, mirar lejos es mirar al pasado. La luz, viajando a 300 mil kilómetros por segundo, tarda cierto tiempo en llegar a la Tierra desde sus fuentes: ocho minutos desde el Sol, unas horas desde Plutón, unos años desde las estrellas más cercanas, 30 mil años desde el centro de nuestra galaxia y muchos miles de millones de años desde las galaxias más lejanas. La luz de Albinoni y su galaxia, por ejemplo, llegó al espejo del telescopio Keck II 10 mil millones de años después de producirse la explosión.

El corrimiento al rojo de las galaxias lejanas se debe a que la expansión del Universo “estira” (es un decir) su luz. Comparándolo con la distancia a la que se encuentra la galaxia se obtiene infor-



Ilustraciones: Aline Guevara Villegas



mación acerca del ritmo de expansión del Universo en épocas remotas.

Para 1998, los equipos de Schmidt y Perlmutter habían estudiado unas 40 supernovas que explotaron entre 4 000 y 7 000 millones de años atrás. Estos datos les bastaron para convencerse de que algo andaba mal con la cosmología del *Big Bang*. Las supernovas se veían 25% más tenues de lo que correspondía a su corrimiento al rojo si la expansión del Universo se va frenando. Luego de descartar posibles fuentes de error (como intrusiones de polvo intergaláctico) y de verificar que ambos equipos obtenían los mismos resultados, luego de devanarse los sesos por espacio de varios meses buscando explicaciones prosaicas, los investigadores anunciaron públicamente una conclusión nada prosaica: la expansión del Universo, lejos de frenarse como casi todo el mundo suponía, se está acelerando.

El lado oscuro

La cosa tiene implicaciones, por ejemplo, en la edad del Universo. Ésta se calcula suponiendo que la gravedad frenaba la expansión. Si en vez de frenarse, se ace-

lera, el cálculo cambia y el Universo resulta más antiguo.

Pero la implicación más tremenda del Universo acelerado tiene que ver con el asunto de la gravedad. Ésta es una fuerza de atracción y, en efecto, tiende a frenar la expansión del Universo. Entonces, ¿quién demonios la está acelerando?

En las ciencias, como en la vida, las cosas tienen muchas facetas. El efecto de aceleración del Universo nos pone ante un problema —el de buscar al responsable— pero al mismo tiempo resuelve otro. Porque el efecto de aceleración cósmica requiere energía en cantidades... ejém... cósmicas, de modo que hay más energía en el Universo de la que habíamos visto hasta hoy. Entonces podemos reconciliar por fin el modelo inflacionario con las observaciones. Aunque no sepamos qué es, esta nueva *energía oscura* (como la han llamado los cosmólogos, pero no porque sea maligna, sino porque no se ve), añadida a los recuentos anteriores de materia y energía, completa la cantidad necesaria para que el Universo sea de geometría plana, como exige el modelo inflacionario.

Pero, ¿qué es la energía oscura?

Dos posibilidades

O por lo menos, ¿qué podría ser?

Antes de 1929 todo el mundo creía que el Universo era estático. Cuando la teoría general de la relatividad mostró que no podía ser así, Einstein añadió a sus ecuaciones un término que representaba una especie de fuerza de repulsión gravitacional y que tenía el efecto de mantener quieto al Universo. Le llamó *constante cosmológica*. Cuando Hubble descubrió la expansión del Universo, Einstein retiró la constante cosmológica con cierto alivio. Pero su extraña creación reapareció, por ejemplo, en el modelo inflacionario del *Big Bang*, y ahora podría ser el origen de la fuerza de repulsión que le está ganando la partida a la atracción gravitacional.

La constante cosmológica es una propiedad intrínseca del espacio, es decir, el espacio simplemente es así y se acabó. Imagínate que quieres conocer el silencio absoluto. Apagas todas las fuentes de ruido que hay en tu cuarto, cierras rendijas, te tapas los oídos y metes la cabeza debajo de la almohada. Con todo, tus oídos siguen percibiendo una señal (prueba y verás, o más bien, oirás). Una cosa similar pasaría con el espacio si existe la constante cosmológica. Si quisieras sacar toda la energía de una región, tendrías que extraer toda la materia, aislarla de fuentes de energía externas, eliminar todos los campos (eléctricos, magnéticos, gravitacionales). Pese a todos tus esfuerzos, quedaría en esa región una energía irreducible, inseparable del espacio como el huevo es inseparable de la mayonesa. Esa energía es la constante cosmológica y podría ser la explicación de la energía oscura.

Otra posibilidad (que en realidad es toda una clase de posibilidades) es que la energía oscura provenga de un nuevo tipo de campo, parecido a los campos eléctri-



cos y magnéticos, al que algunos cosmólogos llaman *quintaesencia*. En la teoría de la relatividad todos los campos producen atracción gravitacional por contener energía, pero la quintaesencia produce repulsión gravitacional.

La constante cosmológica, como propiedad intrínseca del espacio, no cambia con la expansión del Universo, no interactúa con la materia y no cambia de valor en distintas regiones. En cambio la quintaesencia sí podría interactuar con la materia y cambiar de valor. Otra diferencia detectable (pero aún no detectada) es que la quintaesencia acelera la expansión del Universo menos que la constante cosmológica. Los nuevos telescopios, tanto terrestres como espaciales, que se están construyendo nos ayudarán a elegir. (Por cierto, ¿no podrían ser las dos cosas?)

Adiós, mundo cruel

El Universo se va a acabar —o por lo menos se van a acabar las condiciones aptas para la vida— pero no te pongas a escribir tu testamento, aún falta muchísimo. Con todo, es interesante preguntarse cómo podría ser el final.

Antes de 1998 se consideraban, en esencia, dos posibles capítulos finales para el Universo: ¿sería la fuerza de gravedad total lo bastante intensa como para frenar la expansión e invertirla, o seguiría el Universo creciendo para

siempre? En el primer caso el Universo terminaba con un colosal apachurrón exactamente simétrico al *Big Bang*; en el segundo, la expansión seguía eternamente, diluyendo el cosmos y haciéndolo cada vez más aburrido.

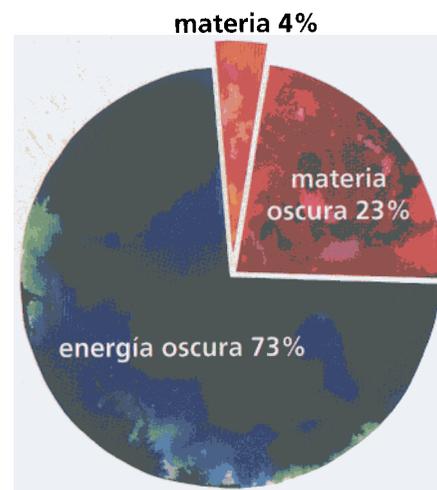
Con el descubrimiento de la expansión acelerada y la energía oscura las cosas han cambiado. Si bien aún no se puede decidir si la energía oscura es constante cosmológica o quintaesencia, está claro, en todo caso, que la posibilidad del Gran Apachurrón queda excluida. El Universo seguirá expandiéndose para siempre hasta que desde la Tierra no veamos ya otras galaxias por haber aumentado tanto las distancias que su luz ya no nos alcance.

Pero nuestra propia galaxia seguirá acompañándonos, por así decirlo. Las estrellas que la componen seguirán unidas por la fuerza gravitacional, como también seguirán unidos los planetas a sus estrellas. De modo que, pese a todo, las cosas en la Tierra seguirán su curso normal. Pequeño detalle: al Sol se le acabará el combustible en 5 000 millones de años, de modo que, más allá de ese tiempo, no se puede decir que las cosas en la Tierra sigan su curso normal, pero pasemos por alto esta minucia.

El año pasado algunos cosmólogos propusieron una variante de la teoría de la energía oscura que consiste en tomar en cuenta ciertos valores, antes desdénados, de un parámetro que la describe. Para distinguirla de la quintaesencia los científicos llamaron “energía fantasma” a la energía oscura de este tipo. No precipiten conclusiones los esotéricos: estos nombres son sólo nombres, que no llevan significado oculto ni ocultista. A los científicos les gustan los nombres llamativos, como a cualquiera.

Si la energía oscura resulta ser de tipo energía fantasma, el final del Universo será muy distinto a lo que nos habíamos imaginado. Según el físico Robert Caldwell y sus colaboradores, llegará un día,

La composición del Universo



dentro de unos 22 mil millones de años, en que la aceleración de la expansión del Universo empezará a notarse a escalas cada vez más pequeñas para producir un final que se llama *Big Rip* (el “Gran Desgarrón”). Mil millones de años antes del *Big Rip*, la energía fantasma superará a la atracción gravitacional que une a unas galaxias con otras y se desmembrarán los cúmulos de galaxias. Sesenta millones de años antes del fin, se desgarran las galaxias. Tres meses antes del *Big Rip*, el efecto alcanza la escala de los sistemas planetarios: los planetas se desprenden de sus estrellas. Faltando 30 minutos para el postrer momento, los planetas se desintegran. En la última fracción de segundo del Universo los átomos se desgarran. Luego, nada.

Espantoso, ¿verdad? Por suerte, para entonces hace mucho que la Tierra habrá dejado de existir. Qué alivio. ☹

Sergio de Régules es físico y divulgador de la ciencia. Su libro más reciente es *Las orejas de Saturno* (Paidós, 2003), un libro escrito para leerse plácidamente junto a una piscina. Su columna de divulgación aparece los jueves en el periódico *Milenio*.

bre, y generar una enfermedad nueva, de la cual puede originarse una epidemia. No está en nuestras manos evitar que estas mutaciones ocurran, pero lo que sí podemos hacer es mantenernos atentos y utilizar un sistema bien articulado de vigilancia epidemiológica, para frenar la epidemia en sus primeros pasos.

En el otro escenario, un agente patógeno puede tener, además de la capacidad natural de infectar a varias especies animales, la potencialidad de infectar al hombre. Sin embargo, el "salto" sólo ocurre rara vez, en los ocasionales encuentros que el hombre llega a tener con la especie animal infectada, encuentros que ocurren a causa de la creciente intromisión del hombre en diversos ecosistemas. Si evitamos el contacto con esa especie, podremos eliminar o disminuir la probabilidad de que ocurra una epidemia.

Un factor importante para descubrir las causas que dieron origen a una epidemia radica en identificar el sitio donde ésta se inició. En el caso específico del SARS, sabemos que su primera cadena de contagio comenzó en la provincia china de Guangdong, el 16 de noviembre del 2002. Un número inusualmente alto de quienes enfermaron de SARS en esa provincia estaban ligados, de una manera u otra, a la industria alimentaria. Por ello, un equipo de investigadores chinos, encabezados por Yi Guan, se aplicó a buscar el virus del SARS en los animales silvestres que se venden en los mercados del sur de China, y que se utilizan en varias especialidades culinarias de esa región. Analizaron varias especies animales, y en tres de ellas encontraron un virus casi idéntico al que causa el SARS en los seres humanos. Estos investigadores



Civeta (*Paguma larvata*).

hicieron hincapié en que todas las civetas (*Paguma larvata*) analizadas tenían el temible virus. Por ello se planteó que las civetas podrían ser el reservorio natural del virus, lo que me invita a pensar que el primer caso del SARS acaeció cuando un gordincho goloso disfrutó de un rico guisado de civeta. Bien dicen que "por la boca muere el pez".

También pudiera suceder que el reservorio del virus del SARS resida en un animal distinto de las civetas, y el virus que se encontró en éstas fue el resultado de un contagio secundario. Resolver este dilema requerirá de un enorme esfuerzo, ya que será necesario buscar el virus del SARS en una enorme gama de animales silvestres.

También hay que tener un ojo atento a que las mascotas como los gatos se pueden enfermar de SARS y convertirse a su vez en transmisores de esta enfermedad.

La clave del éxito

La rapidez con que se pudo contender con una epidemia tan peligrosa, en verdad sorprendente, fue posible gracias a que la OMS estableció una estrategia clara tanto para implementar un cerco epidemiológico efectivo, como para identificar al agente patógeno causante de la enfermedad. Un hecho especialmente importante fue que se pudo definir con prontitud un conjunto de síntomas característicos del SARS, lo cual permitió a las autoridades de salud reconocer y aislar a los enfermos potenciales. También se organizó un mecanismo efectivo para rastrear todos los contactos que pudo haber tenido el paciente durante los 10 días anteriores a aquél en que se manifestaron en él los primeros síntomas. De esa manera fue factible reconocer todos los eslabones de las cadenas de contagio, y se evitó que la enfermedad continuara propagándose.



La OMS orquestó ágilmente un esfuerzo multinacional para identificar el agente causante de la enfermedad (un coronavirus bautizado como SARS-CoV), y logró su objetivo en un tiempo récord. Con el virus aislado e identificado, ha sido posible desarrollar sistemas certeros de diagnóstico de laboratorio.

Actualmente contamos con la secuencia del material genético de alrededor de 30 muestras de virus del SARS aislados de pacientes. Estos datos han permitido no sólo identificar los genes que codifican las proteínas más importantes del virus, sino deducir la estructura tridimensional de una enzima esencial para su replicación. Dicha estructura se está utilizando para diseñar fármacos que bloqueen la función

de la proteína y que, por lo tanto, impidan la replicación del virus. Por otra parte, los datos del genoma del SARS-CoV servirán para el diseño de una vacuna efectiva contra esta enfermedad.

Es importante que se fomente el desarrollo de estos nuevos medicamentos y vacunas, pero de mucha mayor importancia es que se ponga en marcha una red mundial de vigilancia epidemiológica, que investigue todos los brotes o todas aquellas enfermedades con síntomas inusuales que surjan alrededor del planeta, y que pudieran revelar la existencia de una epidemia nueva o una no detectada. Esta red desde luego no es una quimera, pues una similar ha sido instrumentada para vigilar los brotes de gripe. ◀

Miguel Ángel Cevallos es doctor en investigación biomédica básica. Actualmente trabaja en el Centro de Investigación sobre Fijación del Nitrógeno de la UNAM.