

**CLASES** MAGISTRALESMateria / **Ciencia**

# La evolución de nuestro universo

Cómo se formó todo lo que nos rodea en el cosmos: desde lo que alguna vez existió, hasta lo que existe hoy o existirá algún día.

Por **ALEJANDRO GANGUI \***



**E**l universo "nace" en circunstancias desconocidas y que quizás jamás llegaremos a entender. La concepción tradicional del Big Bang sugiere que nuestro universo emergió de una "singularidad", un estado de densidad de energía "infinita" donde todas las leyes de la física conocidas para el espacio y el tiempo dejan de valer. A partir de la inmensa energía de ese estado embrionario, se habrían formado las partículas más elementales que conocemos —como los electrones y los quarks— que comenzarían así su vida en un universo extremadamente denso y energético. El proceso siguió una dinámica vertiginosa. En menos de lo que tarda un pestañeo cósmico, la temperatura habría rondado los mil billones de billones de grados centígrados: un ámbito propicio para que entraran a tallar las leyes de la relatividad

general de Einstein, según las cuales el espacio-tiempo es una nueva entidad, deformable y dinámica, relacionada de forma estrecha con la materia y la energía que contiene. Con la expansión del universo, la temperatura descendió luego hasta unos mil billones de grados centígrados y aparecieron diferenciadas las distintas fuerzas elementales de la física:

la fuerza gravitatoria, que rige el movimiento de los astros; las fuerzas nucleares fuerte y débil: la primera, que mantiene unidos los núcleos de los átomos, y la segunda, que explica la desintegración radioactiva; por último, tenemos el electromagnetismo, una interacción que ya nos resulta muy familiar.

A estas energías, tan elevadas que son difíciles de concebir, comenzaron a formarse partículas más complejas: los quarks se aglutinaron en grupos de a tres, dando origen a protones y neutrones, los fu-

\* COSMÓLOGO. INVESTIGADOR DEL INSTITUTO DE ASTRONOMÍA Y FÍSICA DEL ESPACIO (IAFE) Y AUTOR DE "EL BIG BANG: LA GÉNESIS DE NUESTRA COSMOLOGÍA ACTUAL" (EUDEBA).

## CLASES MAGISTRALES

turos constituyentes de los núcleos atómicos. Materia y "antimateria" –generadas en idéntica proporción en el universo temprano– se autodestruyeron casi por completo, dejando un pequeño vestigio de materia que luego formaría el universo que conocemos. Esto es: el universo observable emerge a partir de los restos que lograron sobrevivir a esa temprana desintegración.

La temperatura del universo descendió más tarde hasta los mil millones de grados centígrados, y los primeros "ladrillos" empezaban a cementarse. Los neutrones y protones se combinaron para formar los núcleos de los átomos más básicos, como el del hidrógeno (que sólo tiene un protón) y el del helio. El universo contaba con apenas unos pocos segundos de vida y se comportaba como un reactor de fusión nuclear. Pero era un reactor "defectuoso", ya que se expandía y enfriaba a una velocidad tal que no lograba formar más que un puñado de los núcleos más livianos. Los núcleos más complejos, como aquellos de los que surgiría la vida tal como la conocemos, se habrían de formar mucho más tarde, en las estrellas.

Cuando el universo se enfrió a unos pocos miles de grados centígrados, los electrones (de carga eléctrica negativa) lograron aferrarse a los núcleos (de carga positiva) para formar la materia neutra. Los fotones o corpúsculos de radiación, herederos del calor de aquel estado primigenio y principales indicadores de la temperatura del universo, que hasta entonces chocaban y echaban por tierra todo intento de construir átomos, dejaron de contar con la energía suficiente. A partir de ese momento, no habría nada que impidiera la formación de la materia neutra ordinaria, la que, por efecto de su mutua atracción gravitacional, daría origen a los grumos primordiales de materia. Estos vendrán luego las galaxias y demás habitantes del cielo.

Por su parte, la radiación, que hasta entonces no podía viajar libremente, logró liberarse de su interacción con la materia y emprendió su largo viaje sin rumbo por el cosmos. Miles de millones de años más tarde, se formaron las estrellas y los planetas. En uno de éstos, uno pequeño y de una suave tonalidad azul índigo, cosmólogos contemporáneos detectaron el tenue brillo de ese fondo de radiación que los inunda: un mensajero celeste al que bautizaron "radiación cósmica de fondo", verdadero vestigio del universo primordial.

### POLVO DE ESTRELLAS

Hoy pensamos que el elemento principal responsable de la formación de las grandes estructuras astrofísicas es el mecanismo de la "inestabilidad gravitacional". En pocas palabras: sabemos que la gravitación es siempre atractiva. Jamás se ha visto, ni en el laboratorio ni en el cosmos, una forma

de materia que repela gravitacionalmente a otra. En el universo temprano, cuando aun no existían estrellas ni planetas, la gravitación permitió que pequeños grumos de materia comenzasen a aglutinarse cada vez más material –sobre todo, átomos de hidrógeno–, para aumentar su tamaño y densidad. Este material no vino de la nada, sino que fue anejado de la materia circundante a estos primeros grumos más densos. Esto redistribuyó la materia disponible: las zonas que inicialmente tenían mayor densidad, con el correr del tiempo se hicieron cada vez más y más densas, lo que permitió que surgiesen las primeras formaciones estructuradas de materia.

Por su parte, las zonas menos densas perdieron la poca materia de la que disponían, dando origen a esos vacíos interestelares que pueblan nuestro universo. En efecto, el mecanismo de la inestabilidad gravitacional ese compara muchas veces al capitalismo salvaje: quienes más tienen, más ganan. Quienes cuentan con muy poco, cada vez tienen menos.

Con el paulatino crecimiento de las estructuras de materia, la era de las tinieblas cósmicas llegó a su fin. Comenzaron a formarse las primeras estrellas, a partir de densas nebulosas primitivas, como aquella imaginada por Immanuel Kant

hace ya dos siglos y medio: inmensas lentejuelas nebulosas de gas en rotación. Una de estas nebulosas ocupó todo el emplazamiento de nuestro actual sistema solar.

La atracción gravitacional hizo que las partículas de este gas cayeran hacia el centro y, de la misma manera que una patinadora contrae sus brazos para girar más rápido, el movimiento rotatorio de la nebulosa se aceleró. En su periferia, anillos de gas que no lograron hacerse un camino hacia el centro quedaron relegados a su suerte, y continuaron su rotación separados de la nebulosa madre. Estos anillos no tardarían en condensarse gravitacionalmente en pequeñas pelotas desinfladas de materia y hasta en grandes esferas, producto de sutiles irregularidades en su distribución inicial. Así pensamos hoy que se formaron los asteroides (¡yo los llamaría planetoides!) y los planetas.

Por su parte, la alta concentración de la materia en los centros de las nebulosas "encendió" a las primeras estrellas, dando origen a los "hornos cósmicos" que cocinarían nuevos elementos químicos, más pesados esta vez, como el carbono y el oxígeno. Hacia el final de sus vidas, las estrellas más masivas explotaron violentamente en forma de supernovas, derramando estos nuevos elementos por todo el espacio interestelar, a través de regiones de nuevas y efervescentes galaxias en gestación. Se formó nuestro sistema solar con una majestuosa estrella central y su elegante cortejo de cuerpos menores y planetas. En algunos de ellos, los más cercanos al Sol, los gases más livianos de sus at-

La inestabilidad gravitacional se compara muchas veces al capitalismo salvaje: quienes más tienen, más ganan.

## CLASES MAGISTRALES

mósferas se queman. Los más alejados, como Júpiter y Saturno, por el contrario, permanecen como inmensos globos de gas.

En la Tierra, se dieron todas las condiciones para que florezcan los seres vivos: un proceso maravilloso que, lejos de ser instantáneo y automático, requirió más de mil millones de años para que esa bola caliente se tornase amable a la vida. Lentamente, organismos unicelulares comenzaron a poblar los océanos y, poco a poco, la evolución dio paso al desarrollo de organismos más y más complejos, hasta llegar a las plantas, los reptiles y los dinosaurios. Luego vendrían las primeras aves modernas y dominarían los mamíferos, hasta el surgimiento de los primeros homínidos, el *Homo sapiens*, y con ellos la lengua, la cultura y la civilización.

### LA HUELLA DE LA FORMACIÓN DE LOS MUNDOS

Hasta aquí hemos narrado la breve "imagen de nuestro universo" –y de nuestra historia– tal como nos la enseña la ciencia y, en particular, la cosmología científica. Sin embargo, desde tiempos inmemoriales, el cielo nocturno despertó en los seres humanos sentimientos de maravilla y reavivó interrogantes muy profundos. ¿Cómo surgió todo? ¿Qué hay "allí afuera"? ¿Cuál será el futuro de nuestro universo?

Generación tras generación, distintas culturas respondieron estos interrogantes con las más variadas ideas, plausibles según sus imaginarios colectivos, sus creencias y sus miedos. Aunque hoy muchas de las respuestas de nuestros ancestros nos parezcan alocadas y fantasiosas, para muchos de nosotros, habitantes de este comienzo del siglo XXI, la maravilla y la fascinación no se han perdido: sólo cambiaron algunos interrogantes.

Por ejemplo, hoy sabemos que las grandes estructuras astrofísicas se originaron de pequeñas aglomeraciones de materia por la acción de la gravitación. Sin embargo, aunque esto nos parece simple, la situación no era tan clara tan sólo unos años atrás. En efecto, si queremos formar, digamos, una galaxia, no basta con tener los ingredientes necesarios, como la masa de unos cien mil millones de soles. También precisamos las "condiciones iniciales" adecuadas. Un universo perfectamente homogéneo, es decir, idéntico en todas partes, no sirve para formar estructuras celestes, pues no existe en él un lugar privilegiado donde comenzar a formar una galaxia.

Así pues, es necesario que existan pequeñas distorsiones o "inhomogeneidades" en la distribución inicial de la densidad de materia, de tal modo que allí donde haya un grumo, las partículas se vean atraídas y se aglutinen cada vez más hasta formar las estrellas y galaxias que nos rodean hoy.

El origen de estas pequeñas inhomogeneidades es

todo un tema en sí mismo, y es centro de uno de los debates más fascinantes de la actualidad. Diremos aquí solamente que hasta tanto no se detectara prueba fehaciente de la existencia de estas pequeñas perturbaciones iniciales, no habríamos estado seguros de que el mecanismo de la inestabilidad gravitacional era el responsable de la formación de los mundos.

Las implicancias son enormes. Si en efecto existieron esas inhomogeneidades, también debieron estar presentes en otro momento crucial de la historia del cosmos: el "desacoplamiento de la radiación y la materia", cuando el universo contaba con unos 400 mil años de vida y su energía ambiente había decrecido lo suficiente como para permitir la formación de la materia neutra. Como lo mencionamos antes, la materia neutra dejó entonces de obstaculizar el camino de los fotones, por lo que pudieron comenzar su largo derrotero por el universo e inundarlo con un fondo de radiación al que llamamos la radiación cósmica de fondo. Los grumos o semillas primordiales, a partir de los que crecieron las grandes estructuras astrofísicas, debieron estar allí en la época de este desacoplamiento. Por ello, pensamos que la radiación de fondo fue un "testigo" de esas épocas remotas. Y creemos que estudiando sus propiedades, llegaremos a saber cómo

fue el origen de los mundos más allá de nuestro sistema solar. Ni más ni menos.

fue el origen de los mundos más allá de nuestro sistema solar. Ni más ni menos.

### EL ENCUENTRO ENTRE PREDICCIÓN Y OBSERVACIÓN

Los que trabajamos en cosmología nos tomamos muy en serio el estudio de la radiación cósmica de fondo, y muchas de las líneas de investigación en astrofísica de la actualidad tratan de desmenuzar sus características (e incógnitas) con gran detalle. Los científicos nos podemos pasar todo el día debatiendo ideas y haciendo cálculos, siempre con el fin de arrebatarle algún nuevo secreto a la Naturaleza, y para eso en parte nos pagan.

Pero llega siempre la prueba de fuego, el momento en el cual todas estas teorías deben confrontarse con la observación (astronómica en nuestro caso). Aunque nuestras ideas nos parezcan coherentes y elegantes, de poco sirven si no se halla un punto de encuentro entre las predicciones realizadas y las observaciones.

Cuando aparecen divergencias –y sucede a menudo en las ciencias– se debe rever todo el edificio teórico que fuimos construyendo. Hay que detectar las grietas que podrían hacer peligrar su estabilidad. Y revisar las suposiciones e hipótesis que empleamos, porque quizás no estaban suficientemente bien justificadas.

Los astrónomos no tienen la suerte que la Naturaleza les brinda a sus colegas de las ciencias experimentales, que pueden manipular sus experimentos e incluso repetirlos si consideran que es necesario

Los astrónomos no pueden manipular sus experimentos: se conforman con lo que les llega del cielo.

## CLASES MAGISTRALES

o que algo anduvo mal. Los astrónomos deben conformarse –literalmente– con lo que les llega del cielo. Que es mucho, sobre todo en forma de radiación, pero que ellos no pueden manejar a voluntad. Aquellos que, por ejemplo, se interesan por las explosiones de supernova –que están entre las más violentas del cosmos– saben bien que en promedio se esperan tan solo un par de estos eventos astronómicos por galaxia y por siglo. Con tan poca frecuencia, no vale la pena esperar que suceda en nuestra Vía Láctea, donde, para colmo, durante el milenio pasado se documentaron tan solo cinco, y la última fue hace más de 400 años. Se trata pues de apuntar el telescopio al mayor número posible de galaxias –la nuestra no tiene por qué ser especial– y seguir trabajando con tenacidad y paciencia.

Los que trabajamos en cosmología y estudiamos la evolución del universo (¡ojo!, no el origen, del cual nada podemos decir) no sólo no podemos manipular el "objeto" de nuestro estudio –el cosmos en su

totalidad– sino que, además, no tenemos la posibilidad de "repetir" el experimento las veces que queramos, o de buscar "otros universos" para incrementar la estadística. Nuestro universo es único y su evolución hasta el estado presente ya ocurrió. No podemos volverlo hacia atrás.

Un arqueólogo puede intentar reconstruir una civilización hoy desaparecida a partir de los vestigios encontrados, como restos de construcciones y utensilios obtenidos en excavaciones. Uno de los principales "vestigios" del estado embrionario del universo que estudiamos los cosmólogos es precisamente ese fondo de radiación residual que llamamos la radiación cósmica de fondo. De su estudio detallado han surgido –y seguirán surgiendo– las características más relevantes del universo primigenio y los pasos de su evolución hasta nuestros días, miles de millones de años más tarde. Y no sólo eso. Este fondo de radiación residual, junto a otras observaciones astronómicas, permiten además que los científicos podamos vislumbrar el futuro para nuestro universo. ●

Este fondo de radiación residual permite vislumbrar el futuro para nuestro universo.

radiación residual que llamamos la radiación cósmica de fondo. De su estudio detallado han surgido –y seguirán surgiendo– las características más relevantes del universo primigenio y los pasos de su evolución hasta nuestros días, miles de millones de años más tarde. Y no sólo eso. Este fondo de radiación residual, junto a otras observaciones astronómicas, permiten además que los científicos podamos vislumbrar el futuro para nuestro universo. ●

### [El plan de **estudios**]

Por primera vez en la Argentina, trece profesores de nivel internacional, abren sus clases para los lectores de NOTICIAS. Cada semana, uno de estos académicos expondrá sus conocimientos con una profundidad que no será limitada por el espacio ni el diseño. Estás invitado.

### [Todas las semanas en **NOTICIAS**]

# CLASES MAGISTRALES

### [Los **profesores**]



FLORENCIA  
LUNA



MARTÍN  
VARSAVSKY



SLAVOJ  
ŽIZEK



MARCOS  
AGUINIS



ALBERTO  
KORNBLITH



ROBERTO  
LAVAGNA



CLAUDIO  
FANTINI



SILVINA  
GVIRTZ



PACHO  
O'DONNELL



ALEJANDRO  
ROZITCHNER



OMAR  
BELLO



ALFONSO  
PRAT-GAY



FERNANDO A.  
IGLESIAS

### [Las **materias**]

**Ética y razón** Žižek / **América Latina** Aguinis / **Educación y nuevas tecnologías** Varsavsky / **Filosofía** Rozitchner / **Globalización** Iglesias / **El mundo y las Ideas Políticas** Fantini / **Microeconomía** Prat-Gay / **Macroeconomía** Lavagna / **Ciencia** Kornblith / **Historia Argentina** O'Donnell / **Filosofía** Bello / **Educación** Gvirtz / **Bioética** Luna

