

Caos y orden en astronomía

JULIETA FIERRO

Existe orden en las estructuras cósmicas y en el flujo del tiempo; existe caos en la generación de la diversidad

La astronomía es la ciencia que pretende explicar la totalidad: el tiempo, la materia, el espacio y los acontecimientos que allí ocurren. Para tal efecto emplea la física. No solamente quiere comprender lo observable sino también formular predicciones; ejemplos comunes de ello son las previsiones relativas a eclipses y evolución estelar. El astrofísico busca orden en los sucesos celestes y lo explica mediante las leyes deterministas de la física; también aplica la teoría del caos para comprender fenómenos que a primera vista podrían parecer desordenados.

Para hacer intuir al lector nuestra idea de física predictiva y caos lo invitamos a imaginar lo que sucedería si lanzara suavemente una pelota de fútbol a otra persona y si soltara un globo inflado cuyo extremo no se encontrara amarrado. En el primer caso le resulta posible anticiparse a la trayectoria del balón, predecirla con seguridad. En cuanto al globo, éste puede salir volando en cualquier dirección pues, al expulsar el aire de manera turbulenta, cualquier pequeño cambio de presión altera a tal grado su curso que lo vuelve impredecible.

A lo largo de la historia reciente, la astrofísica ha empleado los distintos descubrimientos de la física para entender los fenómenos celestes. Por ejemplo, explica la emisión lumínica de las estrellas con base en la de los átomos estudiados en la tierra y aplica sus conocimientos relativos a la gravitación para comprender, entre otras cosas, los movimientos y la distribución de los cuerpos celestes, y los relacionados con equivalencia entre materia y energía para aclarar por qué brillan las estrellas. En épocas más recientes, cuando se aplicó la teoría de los fractales y del caos en la física, se encontraron fenómenos astrofísicos susceptibles de esclarecimiento mediante hipótesis que van desde la formación de granos de polvo interestelares hasta la evolución misma del universo y el origen de otros diferentes del nuestro.

En este artículo describiremos el modelo estándar de la Gran Explosión, donde se pone de manifiesto el orden cósmico,

y comentaremos algunos aspectos donde la teoría del caos se aplica.

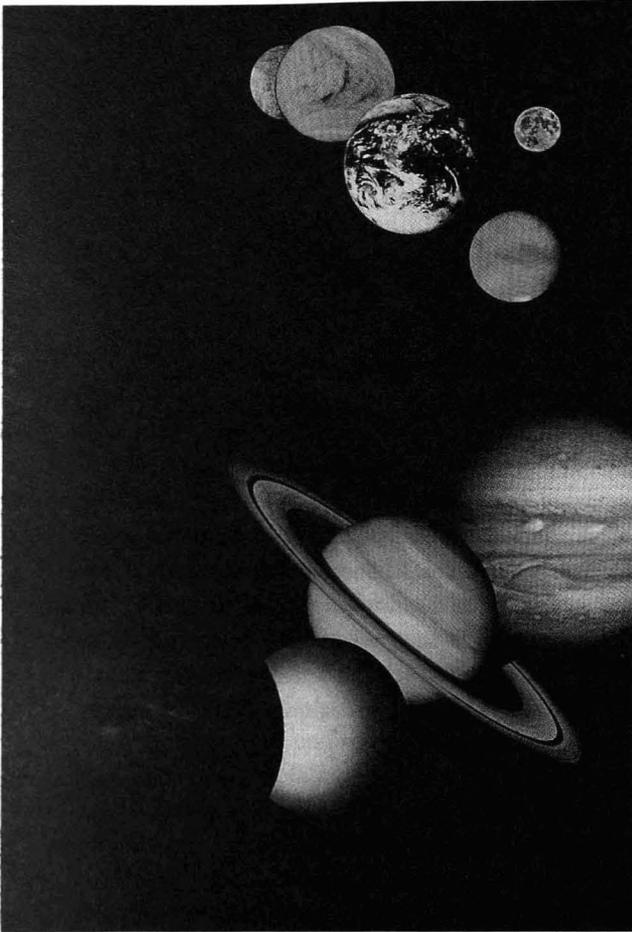
Como mencionamos antes, el universo es *todo*: el espacio, el tiempo, la materia y la radiación. Los astrofísicos quisieran predecir lo que le sucederá al cosmos en su conjunto a largo plazo. Uno de los problemas más apasionantes de la astronomía es la cosmología, que trata de explicar el origen y la evolución del universo. Hasta hace unos cuantos años carecía de suficientes herramientas para enfrentar este tipo de problemas. Ahora dicha ciencia cuenta con observaciones de alta calidad que le permiten hacerlo. Desde luego, la teoría va a la par con los descubrimientos. Puesto que la astronomía es la física aplicada al resto del cosmos, los grandes adelantos recientes en esta disciplina, en particular los referentes a las partículas elementales, posibilitan la forja de una teoría robusta sobre el origen y la evolución del universo.

El modelo estándar de la Gran Explosión sugiere que hace quince mil millones de años comenzó la evolución de nuestro cosmos. En un principio solamente había energía, pero en los minutos subsiguientes se formaron la materia y los elementos químicos más sencillos. La evolución continuó y el universo, cuya temperatura se elevaba a miles de millones de grados cuando apenas tenía algunos instantes de existencia, fue enfriándose hasta que la materia estuvo en condiciones de aglomerarse y formar estrellas dentro de galaxias. En la actualidad el cosmos continúa expandiéndose y su temperatura promedio es de -270 grados centígrados.

A continuación enumeraremos los objetos que lo pueblan, luego comentaremos algunas observaciones vinculadas con la cosmología y por último explicaremos la evolución de su objeto de estudio.

Los cuerpos celestes

Tradicionalmente, la astronomía se ha ocupado del estudio de los cuerpos celestes productores de luz, como las estrellas,



Los cuerpos celestes, como los planetas, son esféricos porque la fuerza de gravedad es una fuerza central que atrae por igual en todas direcciones

la más cercana de las cuales es el sol. Además, ha descubierto otros que sólo la reflejan, como los planetas, los discos y las llamadas nebulosas de reflexión. Las estrellas se agrupan en galaxias, que son conglomerados estelares, algunas de las cuales tienen forma espiral como la Vía Láctea, de la que forma parte el sistema solar, o la galaxia de Andrómeda, un conjunto de cien mil millones de estrellas.

Observación fascinante es la de que los planetas y estrellas tienen forma esférica. Una de las propiedades de la fuerza de gravedad es su carácter de fuerza central, es decir que se distribuye igual en todas direcciones y por consiguiente produce cuerpos redondos. Si éstos rotan rápidamente se aplanan. Así, los anillos planetarios y algunas galaxias son sistemas aplanados y circulares: la combinación de gravitación y rotación produce simetría, orden.

Sin embargo, si observamos con cuidado las estructuras superficiales de un planeta gaseoso como Júpiter, notaremos que posee estructuras caóticas, como las turbulencias formadas alrededor de la Gran Mancha Roja. Esta estructura es en realidad un huracán de Júpiter. En la tierra el clima no se puede predecir con meses de antelación porque una pequeña perturbación se puede amplificar y producir grandes perturbaciones, como señala la teoría del caos —recuérdese la trayectoria del globo cuando expulsa aire.

En el universo, además de las estrellas y planetas existe materia interestelar constituida por gas y polvo, cuyo estudio resulta en especial importante para la astronomía porque las estrellas nuevas se forman dentro de las nubes interestelares. La forma precisa de una de éstas no se puede calcular con antelación ni tampoco la cantidad exacta de estrellas que formará, por razones muy parecidas a las que impiden predecir con exactitud cuántas gotas y burbujas producirá una ola al romperse en la costa, pues una y otra poseen estructuras caóticas. Los granos de polvo sumergidos dentro de las nubes de materia interestelar también tienen estructura caótica, similar a la de esponjas y corales, los cuales presentan aproximadamente las mismas dimensiones, aunque cada uno posee en detalle estructuras particulares, porque el caos produce diversidad.

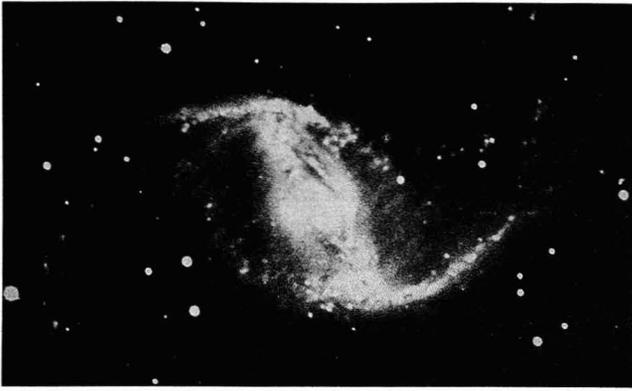
Hace poco se descubrió que, además de la materia común y corriente, hallada porque emite o absorbe luz —como el polvo—, existe otro tipo de sustancia que no interactúa con la radiación electromagnética —ondas de luz, radio, microondas, etcétera—. Esta materia se encontró porque ejerce fuerza gravitacional sobre los demás cuerpos celestes: así como la tierra responde a la fuerza del sol y por eso se mantiene en órbita en su derredor, existen cuerpos que se trasladan alrededor de otros que no vemos, en ninguna longitud de onda. Estos cuerpos invisibles que producen gravedad se conocen como materia oscura. Lo más sorprendente de esta última es que constituye 90% del universo. Es decir que hay mucho más materia oscura que materia visible. En otras palabras, los astrónomos se han pasado la vida estudiando los objetos brillantes y recientemente se han dado cuenta de que la mayor parte del cosmos está formada por sustancias que no absorben ni emiten luz. Es como si los biólogos marinos solamente hubieran estudiado la superficie de los océanos y de repente se hubieran podido asomar a las profundidades: descubrirían seres en verdad sorprendentes. El estudio de la materia oscura es uno de los grandes retos de la astronomía moderna. No se conoce cómo está distribuida y, si bien los especialistas de esa ciencia tienden a suponer en sus cálculos que es esférica, probablemente tenga estructura fractal, como muchas otras distribuciones a gran escala del cosmos.

En resumen, el astrónomo estudia los cuerpos visibles del universo, las estrellas y sus compañeros menores, que se agrupan en galaxias. Además analiza la materia oscura, aunque ignore la naturaleza de su composición y su distribución; sólo tiene noticia de la existencia de dicha materia porque produce atracción gravitacional sobre otros cuerpos celestes.

Se han registrado varias observaciones relacionadas con el universo a gran escala y con su evolución. En seguida describiremos las más relevantes.

La expansión del universo

A principios de siglo el astrónomo norteamericano Edwin Hubble descubrió que todas las galaxias se alejan unas de



Una galaxia espiral es perfectamente reconocible. Cada galaxia de este tipo posee características que la hacen única, tanto como cualquier pirul tiene características particulares que lo distinguen de otros ejemplares de su especie

otras y que entre más alejadas se encuentran tienen mayor velocidad de recesión. Es como si todo el espacio hubiera estado confinado en un espacio muy pequeño y se hallara en continua expansión. El orden es sorprendente, cualquier observador en cualquier lugar aprecia lo mismo: todas las galaxias se alejan.

La radiación de fondo

Puesto que el espacio se expande, cualquier ente sumergido en él también sufrirá un proceso de expansión. Así, los fotones, las partículas constitutivas de la luz, caracterizadas por su longitud de onda, también se están *estirando*. Por consiguiente, conforme se ha operado la expansión del universo, los fotones que originalmente tenían longitudes de onda muy cortas, correspondientes a rayos gamma, se han convertido en fotones de radio. Puesto que el universo temprano contenía cien millones de fotones por cada partícula de materia llamada protón, el cosmos actual los sigue teniendo. Estos fotones que llenan todo el universo y que le imprimen su temperatura característica de -270°C forman lo que se conoce como la radiación de fondo, la cual resulta idéntica para cualquier observador en cualquier lugar.

Las abundancias de los elementos pesados

Noventa por ciento de los elementos químicos que forman el universo son átomos de hidrógeno, 8% lo son de helio y 2% restante de los demás elementos. Estas determinaciones de abundancias químicas son iguales en todas las direcciones del cosmos observadas. La composición química de la tierra es distinta porque ésta se formó cerca del sol recién nacido, cuya temperatura era muy elevada, y por consiguiente las sustancias volátiles de las que pudo haberse formado nuestro planeta se evaporaron y no se integraron a él.

Los elementos químicos más simples, el hidrógeno y el helio, se constituyeron durante los primeros minutos posteriores al origen del universo, cuando existían las altas densidades de los

protones y neutrones que los generan. Posteriormente tal concentración disminuyó tanto que se frenó la producción de los demás elementos. Millones de años más tarde los elementos químicos más pesados que el hidrógeno y el helio se produjeron dentro de las estrellas y durante sus explosiones.

Existe un orden sorprendente en la evolución de las estrellas. Las más masivas de cualquier lugar del cosmos producen elementos pesados.

La isotropía y la homogeneidad

Todas las observaciones efectuadas hasta el presente indican que el universo es muy parecido en cualquier dirección donde observemos. La distribución de galaxias es similar, tanto como lo son su estructura y su composición química. Cuando los astrónomos dicen que el cosmos es homogéneo e isotrópico se refieren a que cualquier observador en cualquier lugar del mismo vería una distribución de materia y de energía igual que cualquier otro y que nosotros apreciamos lo mismo en cualquier dirección. En otras palabras, no existen posiciones ni direcciones privilegiadas en el universo.

Si todos los objetos del cosmos son tan parecidos, lo más probable es que hayan tenido un origen común. Así como toda la vida en la tierra es semejante porque tuvo su origen en los primeros seres vivos y está basada en cadenas de ácido desoxirribonucleico, la gran similitud de los cuerpos celestes hace pensar que también ellos tuvieron un origen común, que estuvieron alguna vez tan cerca unos de otros que la información de unos pudo pasar a los demás y por consiguiente su evolución produjo cuerpos similares.

Este último punto es relevante en la cosmología actual pues resulta que las galaxias situadas en direcciones diametralmente opuestas poseen estructuras y composiciones químicas muy parecidas; sin embargo, la materia que les dio origen nunca pudo estar en contacto si la expansión cósmica hubiera sido constante durante los últimos quince mil millones de años. Por consiguiente, el llamado modelo estándar de la Gran Explosión ha debido modificarse para incluir lo que se conoce como un periodo de inflación, donde hubo una ex-

pansión mucho más elevada durante los primeros tiempos del cosmos.

La evolución del universo

Como mencionamos antes, se piensa que nuestro universo tuvo su inicio hace quince mil millones de años, cuando comenzó la expansión cósmica. En un principio solamente había energía, la cual se transformó en materia de acuerdo con la relación propuesta por Einstein: $E = mc^2$. La energía original vino del vacío. Resulta que éste constituye un reservorio enorme de energía dentro del cual puede haber un cambio de fase capaz de liberar la energía necesaria para dar origen a la Gran Explosión formadora de nuestro universo, o bien a otras grandes estallidos generadores de cosmos adicionales a él.

La física de partículas de altas energías es la que se aplica al universo temprano, cuando la temperatura era de millones de billones de grados y la densidad de la materia mayor que la de los núcleos atómicos. En esas condiciones se dice que las fuerzas de la física estaban unificadas, es decir que la fuerza electromagnética, la débil, la nuclear y la gravitacional eran una sola. Se formaron entonces los cuarks y los leptones.

Conforme se fue expandiendo el universo se enfrió. Se formaron los primeros protones y neutrones, los cuales se combinaron para formar los átomos del helio. La expansión cósmica continuó a tal velocidad que dejaron de formarse nuevos elementos y, por ello, los más abundantes en el cosmos son el hidrógeno y el helio, los únicos formados durante los tres primeros minutos después de la Gran Explosión. Los demás elementos tuvieron que esperar cientos de millones de años hasta que nacieron las primeras estrellas capaces de generarlos por medio de las reacciones termonucleares.

Al expandirse y enfriarse progresivamente el universo, llegó un momento en que estuvo lo bastante frío como para permitir que la materia se condensara y formara galaxias junto con las primeras generaciones estelares. Puesto que los elementos químicos más pesados que el hidrógeno y el helio se elaboran en el interior de las estrellas, fue necesario esperar a que éstas evolucionaran y arrojaran al espacio los elementos fabricados en su interior para que las nuevas generaciones estelares junto con sus planetas tuvieran esos elementos desde su origen. Por consiguiente también existe una evolución química en el cosmos: los objetos de evolución más reciente como el sistema solar tienen mayor cantidad de elementos químicos pesados. En cambio las estrellas más viejas poseen pocos elementos como el hierro o el magnesio.

La existencia de la energía disponible en el vacío ha llevado a los cosmólogos a suponer que no sólo se ha formado nuestro universo, sino también otros desconectados de él que obtuvieron igualmente su energía del vacío pero que se hallan sujetos a leyes de la física distintas.

Este tipo de ideas han brindado gran riqueza a la cosmología actual. La ciencia cambia sin cesar. Conforme aprendemos más física, nuestras ideas sobre el universo se modifican. La naturaleza es tan generosa que cuando le planteamos alguna pregunta con frecuencia ofrece más y mejores respuestas de las que esperaríamos obtener.

Los otros universos

Como mencionamos antes el modelo estándar de la Gran Explosión ha debido modificarse para explicar la similitud de las galaxias alejadas. Ésta no es la única observación que implica la idea de un periodo inflacionario, pues si éste no hubiera existido debería haber una gran densidad de monopolos magnéticos en la vecindad de la tierra, en realidad no detectados.

La pregunta que surge es de dónde salió la enorme cantidad de energía necesaria para crear la materia que forma a los cuerpos celestes y para producir la expansión cósmica. Al parecer proviene de las fluctuaciones del vacío, donde moran las partículas de Higgs que, al sufrir una transición, pueden generar suficiente energía para iniciar la expansión cósmica. Pero si hubo cuando menos una transición que originó nuestro cosmos podría haber más que formaran otros diferentes.

En particular las transiciones de las partículas pueden estudiarse de manera más adecuada recurriendo a la teoría del caos. Así, es posible concebir otros universos, paralelos al nuestro y totalmente incomunicados, cada uno con su física muy peculiar determinada por el caos.

Si existen varios cosmos y unos pueden generar otros, significa que el conjunto de ellos es homogéneo, que no existe ninguno especial. La existencia de cosmos paralelos implica que no existe un "inicio" del universo, ya que unos provienen de otros.

Así el universo posee orden y desorden, cosmos que se forman y se expanden y pueden dar origen a cuerpos simétricos como las galaxias con estrellas, planetas anillados y vida. La presencia del caos en todas las escalas del universo implica una gran diversidad de posibilidades y, por consiguiente, uno o varios universos con enorme potencial de crear diversidad. ♦



La materia oscura se detecta por la atracción gravitacional que ejerce sobre los cuerpos visibles. Los arcos luminosos observables en esta fotografía son el producto de la desviación experimentada por la luz al pasar cerca de cuerpos masivos