tividad general con algunas particulas adicionales. perar este problema, en 1976 se sugirió una teoría denom medidas dan valores perfectamente finitos. En un inte<sup>nto</sup>d. magnitudes, esse a que estas magnitudes pueden observane, dad infinitas, pese a que estas magnitudes pueden observane, magnitudes, como la curvatura del espacio-tiempo, son que estas magnitudes pueden observatura Pero ajustar estas no es suficiente para eliminar todos los inas estas no es suficiente para eliminar todos los inas estas no es suficiente para eliminar todos los inas estas no es suficiente para eliminar todos los inas estas no es suficiente para eliminar todos los inas estas no es suficiente para eliminar todos los inas estas no es suficiente para eliminar todos los estas eliminar todos estas eliminar todos eliminar el

petía el cálculo y obtenía la misma solo se sabría que se tenía la respuesta cometer al menos un error, y probabler rían al menos cuatro años. Había una probabilidad muy ala e los. Incluso valiéndose de un ordenador, se estimaba que se taratan largos y difíciles que nadie estaba preparado para emprender necesarios para descubrir si quedaban infinitos sin cancelar em que podrían seguir quedando algunos. Sin embargo, los cálculo chos de los posibles infinitos se cancelarían, pero se sospechal pares virtuales de partículas de espín 0, 1 y 2. De esta manera m energía negativa. Esta tendería a cancelar la energía positiva de la pares virtuales partícula/antipartícula de espín 1/2 y 3/2 tendia rarse como aspectos diferentes de la misma «superpartícula» la 1/2 y 0. En cierto sentido, todas estas partículas podrían considerados estas partículas podrían estas partículas estas partículas estas partículas estas partículas estas partículas estas partículas estas estas partículas estas estas partículas estas La idea era añadir algunas otras nuevas partículas de espín 3/2, la fuerza gravitatoria es una partícula de espín 2 llamada gravita En relatividad general puede considerarse que la portadon. te más. De modo que la si alguien más re ca, y eso no pare

pado. Más bien son cosas que tienen una longitud pero ninguna otra dimensión, como un lazo de cuerda infinitamente fino. Una po, de modo que su historia en el espacio-tiempo es una superficontrario, ocupa una línea en el espacio en cada instante de tiemcio-tiempo llamada la «línea de universo». Una cuerda, por el por eso, su historia puede representarse por una línea en el espaparticula ocupa un punto del espacio en cada instante de tiempo cie bidimensional llamada la «hoja de universo». Cualquier punto en dicha hoja de universo puede describirse por dos números, uno que especifica el tiempo y el otro que especifica la posición que representa la posición de la cuerda en un instante particular. cilindro o tubo. Una sección transversal del tubo es un circulo del punto en la cuerda. La hoja de universo de una cuerda es un Dos trozos de cuerda pueden unirse para formar una sola

cuerdas. En las teorías de cuerdas, lo que previamente se considecuerda. Es como la unión de las dos perneras en unos pantalones. raban partículas se imaginan ahora como ondas que viajan a lo Análogamente, un único trozo de cuerda puede dividirse en dos unión de cuerdas. Por ejemplo, la fuerza gravitatoria del Sol sobre sorción de una partícula por otra corresponde a la división o la largo de la cuerda, como ondas en un tendedero. La emisión o abla Tierra corresponde a un tubo en forma de H. La teoría de en elerto sentido, muy parecida a la fontanería. Las onados verticales de la H corresponden a las partícu a Tierra, y las ondas en la barra horizontal corres

erza gravitatoria que viaja entre ellos. para describir la fuerza fuerte. La idea tiene una historia curiosa. Originalles de la década de 1960 en un inten-

jetos básicos no son partículas qu de lo que se denominan teorías d Debido a este problema, hubi

muy probable

in solo pr En estas tec io de opinio LA TEORÍA DEL TODO

sideremos, por ejemplo, las piezas de un rompecabeza sideremos, por ejempos disposición de las piezas en la que caja. Hay una, y solo una, disposición de las piezas en la que caja. Hay una y una pina que caja. Por el contrario, hay un número de las piezas en la que caja. caja. Hay una, y son man una imagen completa. Por el contrario, hay un nún man una imagen completa. Por el contrario, hay un nún man una imagen completa. Por el contrario, hay un nún man una imagen completa. Por el contrario, hay un nún man una imagen completa. Por el contrario, hay un nún man una imagen completa. Por el contrario, hay un nún man una imagen completa. Por el contrario, hay un nún man una imagen completa. Por el contrario, hay un nún man una imagen completa. Por el contrario, hay un nún man una imagen completa. Por el contrario, hay un nún man una imagen completa. Por el contrario, hay un nún man una imagen completa. Por el contrario, hay un nún man una imagen completa. Por el contrario, hay un nún man una imagen contrario de contrari man una imagen company un munes prezas están desordo grande de disposiciones en las que las piezas están desordo no forman una imagen.

forman una imagen.
Supongamos que un sistema empieza en uno de un peque supongamos que un sistema empieza en uno de un peque supongamos que un sistema en peque su pe Supongamos que un sacra.

Supongamos que un sacra.

Supongamos que un peque, número de estados ordenados. Con el paso del tiempo, el sinde número de estados ordenados. número de estados ordenes por la física y su estados evolucionará de acuerdo con las leyes de la física y su estado estados probas. evolucionara de acuerdo e evolucionara de acuerdo e biará. En un tiempo posterior, habrá una elevada probabilidad biará. En un tiempo posterior, habrá una elevada probabilidad biará. En un tiempo posterior, habrá una elevada probabilidad biará. biará. En un tiempo poseca de la condenado, simplemente porque la que esté en un estado más desordenados que ordenados. Así nue de la condenados que ordenados. Así nue de la condenados que ordenados que ordenado que orden que esté en un estado muchos más estados desordenados que ordenados. Así pues, el de muchos más estados desordenados que ordenados. Así pues, el de muchos más estados desordenados que ordenados. Así pues, el de muchos más estados desordenados que ordenados. muchos mas estado de sorden tenderá a aumentar con el tiempo si el sistema obedece, sorden tenderá a aumentar con el tiempo si el sistema obedece, una condición inicial de orden elevado.

a condicion fucialismos que las piezas del rompecabezas empiezan en la supongamos que las piezas del rompecabezas empiezan en la supongamos que las piezas del rompecabezas empiezan en la supongamos que las piezas del rompecabezas empiezan en la supongamos que las piezas del rompecabezas empiezan en la supongamos que las piezas del rompecabezas empiezan en la supongamos que la supongamo que disposición ordenada en la que forman una imagen. Si agitano la caja, las piezas adoptarán otra disposición. Esta será probable. mente una disposición desordenada en la que las piezas no for. man una imagen adecuada, simplemente porque hay muchas ma disposiciones desordenadas. Algunos grupos de piezas quizá sign formando partes de la imagen, pero cuanto más agitemos la caja más probable es que estos grupos se deshagan. Las piezas adopurán un estado completamente revuelto en el que no forman ninguna imagen. Por lo tanto, lo más probable es que el desorden de las piezas aumente con el tiempo si se satisface la condición incial de empezar en un estado de orden elevado.

Supongamos, sin embargo, que Dios decidió que el universo debería acabar en un estado de orden elevado sin impor estado empezó. Entonces, en tiempos muy tempranos estaría probablemente en un estado desordenado, y

giaminuiria con el tiempo. Tendríamos vasos rotos que se recomdiminutra con la mesa. No obstante, cualesquiera seres humanos popen y saltan a la mesa. No obstante, cualesquiera seres humanos appropriata los vasos estarian viviendo, en un ponen y saran los vasos estarían viviendo en un universo en el que que observaran los vasos estarían viviendo en un universo en el que la la decrece con el tiempo. Sostendos que observaran nos valores en el que el desorden decrece con el tiempo. Sostendré que tales seres tenel desorden use drian una flecha del tiempo psicológica que iría hacia atrás. Es de-

LA FLECHA PSICOLÓGICA

Es bastante difícil hablar de la memoria humana porque no conocemos en detalle cómo funciona el cerebro. Sin embargo, sabemos todo sobre cómo funcionan las memorias de ordenador, así que voy a discutir la flecha del tiempo psicológica para ordenadores. Creo que es razonable suponer que la flecha para los ordenadores es la misma que para los seres humanos. Si no lo fuera, uno podría provocar una bancarrota en la bolsa si tuviera un ordenador que recordara los precios de mañana.

Una memoria de ordenador es básicamente un dispositivo que puede estar en uno u otro de dos estados. Un ejemplo sería un anillo de cable superconductor. Si una corriente eléctrica fluye por el anillo, seguirá fluyendo sin disiparse porque no hay resistencia. Por el contrario, si no fluye corriente, el anillo seguirá licorriente. Podemos etiquetar los dos estados de la memo-

«uno» y «cero».

de que se registre un dato en la memoria, la memoria estado desordenado con probabilidades iguales para ia interacciona con el sistema Una vez que la

LA TEORÍA DEL TODO

de. Como comentaba Guth: «Se dice que nada sale gratis, la universo es la gratuidad definitiva».

## EL FINAL DE LA INFLACIÓN

Actualmente el universo no se está expandiendo de manera la labor el crím el c Actualmente di tanto, tuvo que haber algún mecanismo que minara la muy alta constante cosmológica efectiva. Esto cank ría la velocidad de expansión, que pasaría de ser acelerada frenada por la gravedad, como la que tenemos hoy. A medida o el universo se expandiera y enfriara, cabría esperar que, con tiempo, la simetría entre las fuerzas se rompiera, de la mismas. ma que el agua sobreenfriada siempre acaba por congelarrell energía extra del estado de simetría intacta sería entonces liba da y recalentaría el universo. Luego el universo seguiría expa diéndose y enfriándose, igual que en el modelo del big bango liente. Sin embargo, ahora habría una explicación de por que universo se estaba expandiendo exactamente a la velocidad di ca y por qué diferentes regiones tenían la misma temperatura

En la propuesta original de Guth se suponía que la transido a la simetría rota se producía de forma repentina, muy parecid como aparecen cristales de hielo en el agua muy fría. La idea que se habían formado «burbujas» de la nueva fase de simetríam en la fase vieja, como burbujas de vapor rodeadas por agua viendo. Se suponía que las burbujas

EL ORIGEN Y EL DESTINO DEL UNIVERSO

se estarian alejando unas de otras con demasiada rapidez para se estarati angue de la contra en un estado nada uniforme, con regiones en las que habría simetría entre las diferentes fuerzas. Segiones en modelo del universo no correspondería a lo que vemos.

En octubre de 1981 fui a Moscú a una conferencia sobre gravedad cuántica. Después de la conferencia impartí un seminario sobre el modelo inflacionario y sus problemas en el Instituto Assobre el moderno sur la companio de la companio del companio de la companio del companio de la companio del companio de la companio del companio de la companio del companio del companio del companio de la companio del companio de dréi Linde, que dijo que el problema de que las burbujas no se unieran podía evitarse si estas fueran muy grandes. En este caso, nuestra región del universo podría estar contenida dentro de una única burbuja. Para que esto funcione, el cambio de simetría intacta a simetría rota debería producirse muy lentamente dentro de la burbuja, pero resulta perfectamente posible según las teorías de la gran unificación.

La idea de Linde de una ruptura de simetría lenta era muy buena, si bien señalé que sus burbujas tendrían que haber sido mayores que el tamaño del universo en esa época. Demostré que la simetría se habría roto en todos los lugares al mismo tiempo, y no solo dentro de las burbujas. Esto llevaría a un universo uniforme, como el que observamos. El modelo de ruptura lenta de simetría era un buen intento para explicar por qué el universo es como es. Sin embargo, varios colegas y yo demostramos que predecía variaciones en la radiación del fondo de microondas mucho que las observadas. Además, trabajos posteriores arrojaron re si habría habido el tipo correcto de transición de fase rimitivo. Un modelo mejor, llamado el modelo LA TEORÍA DEL TODO

EL MODELO DEL BIG BANG CALIENTE

Para explicar de qué trataba mi ponencia, describiré prines, historia del universo tal como hoy es generalmente aceptada, gún lo que se conoce como el «modelo del big bang calies». Este supone que el universo se describe por un modelo de Frie mann, que se retrotrae hasta el mismo big bang. En tales models se encuentra que a medida que el universo se expande, la temperatura de la materia y la radiación en el mismo descenderá. Pusto que la temperatura es simplemente una medida de la energia media de las partículas, este enfriamiento del universo tendrá a efecto importante sobre la materia que hay en él. A temperatura muy altas, las partículas se moverán con tanta rapidez que puede escapar de cualquier atracción mutua causada por fuerzas nueles res o electromagnéticas. Pero cuando se enfríen, cabe esperar que las partículas que se atraen mutuamente empiecen a agregare

En el propio big bang, el universo tenía tamaño cero, y porb tanto debía de haber sido infinitamente caliente. Pero a medid que el universo se habría ido expandiendo, la temperatura de la radiación habría decrecido. Un segundo después del big bang habría caído hasta unos 10.000 millones de grados. Esta es aproximadamente mil veces la temperatura en el centro del Sol, pero temperaturas tan altas como esta se alcar bombas H. En ese momento el univers mentalmente fotones, electrones y ne junto con algunos proton

A medida que el un ratura caía, el ritmo al rocen las colisiones habr

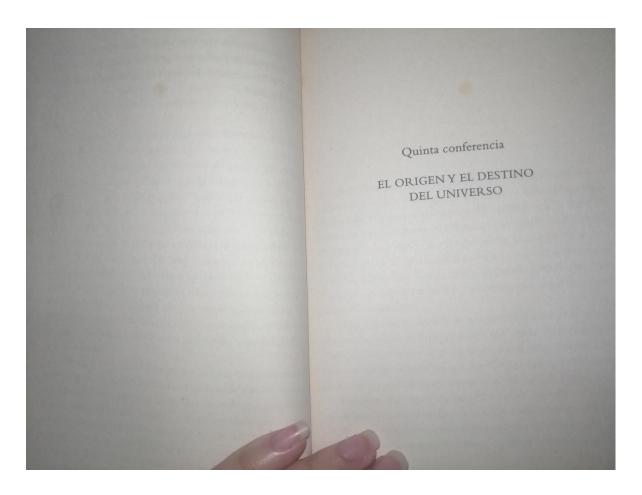
EL ORIGEN Y EL DESTINO DEL UNIVERSO

guian por aniquilación. Así, la mayoría de los electrones y los antielectrones se habrían aniquilado mutuamente para producir más tielectrones, dejando detrás solo unos poco electrones.

Aproximadamente cien segundos después del big bang, la temperatura habría caído hasta 1.000 millones de grados, la temperatura en el interior de las estrellas más calientes. A esta temperatura, protones y neutrones ya no tendrían energía suficiente para escapar de la atracción de la fuerza nuclear fuerte. Empezarán a combinarse para formar núcleos de átomos de deuterio, o hidrógeno pesado, que contienen un protón y un neutrón. Los núcleos de deuterio se combinarían entonces con más protones y neutrones para formar núcleos de helio, que contienen dos protones y dos neutrones. Habría también pequeñas cantidades de un par de elementos más pesados: litio y berilio.

Se puede calcular que en el modelo del big bang caliente aproximadamente una cuarta parte de los protones y los neutrones se habrían convertido en núcleos de helio, junto con una pequeña cantidad de hidrógeno pesado y otros elementos. Los neutrones restantes se habrían desintegrado en protones, que son los núcleos de átomos de hidrógeno ordinario. Estas predicciones están en gran consonancia con lo que se observa.

El modelo del big bang caliente predice también que deberíamos poder observar la radiación residual de las tempranas etapas calientes. Sin embargo, su temperatura se habría reducido a ocos grados sobre el cero absoluto por la expansión del o. Esta es la explicación del fondo de radiación de microdescubierto por Penzias y Wilson en 1965. Por eso tenemos confianza en que poseemos la imagen correcta, al menos hasproximadamente un segundo después del big bang. Tan solo



masa límite de las estrellas frías. en 1983 fue, al menos en parte, por su primer trabajo sobre la astronomía. Sin embargo, cuando se le concedió el premio Nobel donar esa línea de trabajo y orientarse hacia otros problemas de estructura de las estrellas, persuadió a Chandrasekhar para aban-Eddington, su antiguo profesor y una autoridad destacada en la un tamaño nulo. La hostilidad de otros científicos, en especial de tículo en el que afirmaba que las estrellas no se contracrían hasa la mayoría de los científicos. El propio Einstein escribió un arcolapsar hasta quedar reducida a un punto. Esta era la opinión de Pensó que simplemente no era posible que una estrella llegara cian de ello y se negó a aceptar el resultado de Chandrasekha encima del límite? ¿Colapsaría hasta una densidad infinita? gurese peruer masa suma estrella de neutrones para llevarla po-Chandrasekhar había demostrado que el principio de A Eddington le horrorizaban las consecuencias que se dedu

reavivó el interés en los problemas en la gran escala de la astronomía y la cosmología gracías al aumento en el número y el alcanmía y la cosmología gracías al aumento en el número y el alcanmía y la cosmología estronómicas que supuso la aplicación de ce de las observaciones astronómicas que supuso la aplicación de la tecnología moderna. Entonces el trabajo de Oppenheimer redescubierto y ampliado por varias personas.

La imagen que tenemos ahora del trabajo de Oppenheimer La imagen que tenemos ahora del trabajo de Oppenheimer es la siguiente: el campo gravitatorio de la estrella cambia las travectorias de los rayos de luz en el espacio-tiempo respecto a las yectorias de los rayos de luz en el espacio-tiempo respecto a las que habrían sido si la estrella no estuviera presente. Los conos de luz, que indican las trayectorias que siguen en el espacio y el luz, que indican las trayectorias que siguen en el espacio y el luz, que indican las trayectorias desde sus vértices, se curvan tiempo los destellos de luz emitidos desde sus vértices, se curvan queda de manifiesto en la curvatura de la luz procedente de esqueda de manifiesto en la curvatura de la luz procedente de estrellas lejanas que puede observarse durante un eclipse de Sol. Cuando la estrella se contrae, el campo gravitatorio en su superficie se hace más intenso y los conos de luz se curvan más haci dentro. Esto hace más dificil que la luz de la estrella escape, y la lu dentro. Esto hace más dificil que la luz de la estrella escape, y la lu parece más tenue y más roja para un observador distante.

Finalmente, cuando la estrella se ha contraído hasta un cie to radio crítico, el campo gravitatorio en la superficie se ha tan intenso que los conos de luz están tan inclinados hacia de tro que la luz ya no puede escapar. Según la teoría de la relat tro que la luz ya no puede escapar. Según la teoría de la relat de dad. La puede viajar más rápido que la luz. Por lo tanto, de de escapar, ninguna otra cosa puede hacerlo: tod por el campo gravitatorio. De este modo, hay un de sucesos, una región del espacio-tiempo, de la que

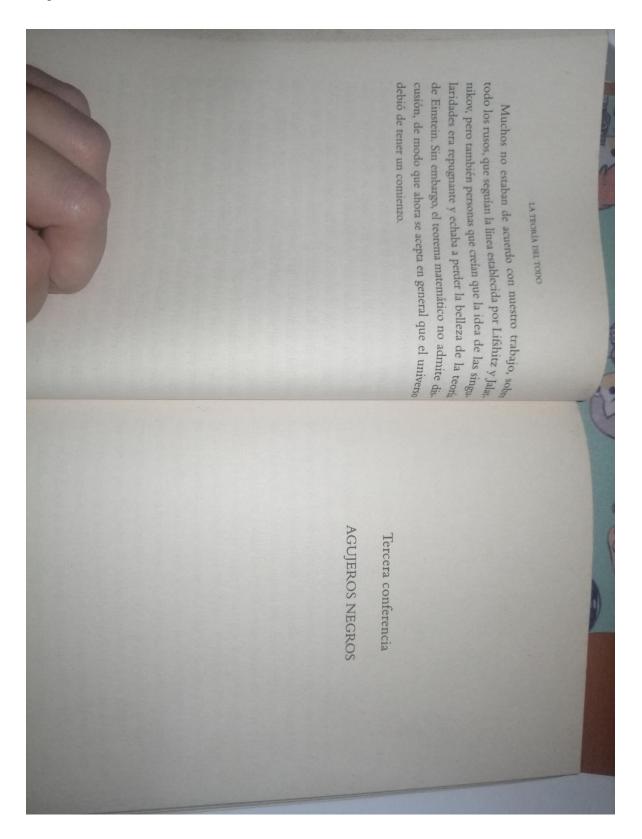
ser detectada por los telescopios d' Segunda Guerra Mundial y el procrado en el proyecto de la belle problema del colapso

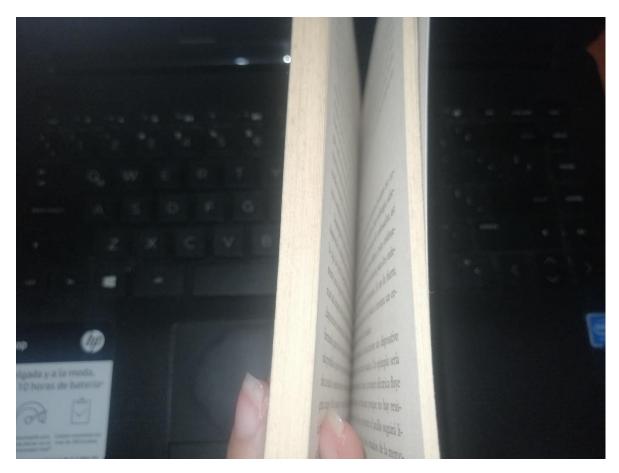
cano, Robert Oppenheimer. Sin emb que no habría ninguna consecuencia

su resultado

sión no podía detener el colapso de una estrella con una masa superior al límite de Chandrasekhar. Pero el problema de entender lo que le sucedería a tal estrella, según la relatividad general, siguió abierto hasta 1939, cuando fue resuelto por un joven norteam.

ka gue





Cantidad leída hasta el día de hoy.