

DRAKONTOS

Orígenes

El universo, la vida, los humanos

DX

Carlos Briones
Alberto Fernández Soto
José María Bermúdez de Castro

CRÍTICA

Orígenes

El universo, la vida, los humanos

Carlos Briones
Alberto Fernández Soto
José María Bermúdez de Castro

Prólogo de Ricard Solé

CRÍTICA
BARCELONA

Primera edición: septiembre de 2015

Orígenes. El universo, la vida, los humanos

Carlos Briones, Alberto Fernández Soto y José M^a Bermúdez de Castro

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal)

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.
Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

© Carlos Briones, Alberto Fernández Soto y José M^a Bermúdez de Castro, 2015

© Editorial Planeta S. A., 2015
Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

Fotocomposición: gama, sl

editorial@ed-critica.es
www.ed-critica.es

ISBN: 978-84-9892-862-4
Depósito legal: B. 17.535 - 2015
2015. Impreso y encuadernado en España por Huertas Industrias Gráficas S. A.

●

Índice

<i>Prólogo</i>	13
<i>Introducción</i>	21

El Universo

ALBERTO FERNÁNDEZ SOTO

1. PRÓLOGO	31
2. BASES DEL MODELO	33
3. LA FÍSICA DEL ENFRIAMIENTO	39
Física cuántica	41
Quarks, leptones y gluones	43
Partículas	48
Núcleos	50
Átomos	52
Materia	53
4. PRUEBAS OBSERVACIONALES	55
La expansión	58
La química	69
El eco	84
5. NUEVOS COMPONENTES	99
Materia oscura	99
Energía oscura	106

Oscilaciones bariónicas	111
6. COSMOLOGÍA DE PRECISIÓN	117
Los valores del modelo	118
7. EL FUTURO DE NUESTRO PASADO	119
Problemas pendientes	120
La inflación cósmica como solución	124
El destino final del Universo	128
8. Y AL FINAL DEL ORIGEN	131

La vida
CARLOS BRIONES

1. INTRODUCCIÓN	147
Muchas preguntas y algunas respuestas	148
¿Qué es la vida?	153
La química de los seres vivos	160
2. APROXIMACIONES AL ORIGEN DE LA VIDA	171
La vida y la generación espontánea	171
Darwin: el origen	178
Oparin y Haldane	182
3. LA QUÍMICA PREBIÓTICA	187
La Tierra primitiva	187
Los pioneros: Miller y Oró	192
Meteoritos, cometas y panspermia	199
Aminoácidos <i>zurdos</i> y nucleótidos <i>diestros</i>	203
Los avances de la química prebiótica	206
4. EL MODELO DEL MUNDO RNA	215
Los orígenes del modelo	216
Ribozimas y ribosomas	220
Evolución de RNA <i>in vitro</i>	226
Los primeros replicantes	231
Origen del RNA y Mundos pre-RNA	233
5. VIRUS Y VIROIDES	241
El discreto encanto de los virus	241
Orígenes de virus y viroides	246

¿Son seres vivos?	250
6. COMPARTIMENTO, METABOLISMO Y REPLICACIÓN.	253
Compartimentos para la vida.	253
Las bases del metabolismo	257
La integración compartimento/metabolismo/replicación	266
Química de sistemas en el origen de la vida	270
Claves desde la biología sintética	275
7. DE LAS PRIMERAS CÉLULAS A LUCA.	279
Hacia el Mundo DNA/RNA/proteínas	279
Los primeros metabolismos	281
LUCA, el antepasado común	286
8. LA EVOLUCIÓN DE LA VIDA	291
Claves de la evolución biológica.	291
Los fósiles: huellas de la evolución.	302
Los genomas: archivos de la evolución.	305
9. BACTERIAS Y ARQUEAS	311
La evolución de los procariotas.	311
Un veneno en el aire	315
Los extremófilos: viviendo al límite	317
10. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS EUCARIOTAS	321
La célula eucariótica	321
Los organismos pluricelulares.	328
La Explosión cámbrica	331
El sueño del pez ancestral	336

Los humanos

JOSÉ MARÍA BERMÚDEZ DE CASTRO

1. PRELUDIO	343
2. ANDANTE	347
Arquitectura en movimiento	349
¿Por qué somos bípedos?	354
3. ALLEGRO MA NON TROPPO.	363
Los primeros indicios	364
Ardi y Lucy: ¿madres de la humanidad?	369

Hace menos de tres millones de años. En los umbrales del cambio.	375
4. ALLEGRO AGITATO	383
Geodiversidad y biodiversidad	383
Parántropos: el arte de sobrevivir	387
La primera piedra de un nuevo edificio.	390
Preparados para el primer viaje.	399
Hacia nuevas formas de ser humano	402
5. VIVACE.	411
El salto hacia la modernidad	411
Resolviendo un enigma.	418
Un nuevo clado y el origen de los neandertales.	426
6. ALLEGRO MOLTO	431
Sobre el origen de <i>Homo sapiens</i>	431
Paleogenética. Los genes perdidos	436
7. PRESTO	441
La claves del cerebro.	441
Cambios en la forma del cerebro.	447
El gran salto de la humanidad	450
Crecimiento y desarrollo cerebral en <i>Homo sapiens</i>	452
¿Somos diferentes gracias al lenguaje?	458
8. PRETISSIMO	463
Humanos del presente y del futuro: genes y socialización	463
<i>Epilogo</i>	471
<i>Bibliografía</i>	481
Lecturas recomendadas	481
El Universo	481
La vida.	482
Los humanos	484
Para saber más	484
El Universo	485
La vida.	487
Los humanos	496
<i>Índice onomástico</i>	503

Prólogo

Una de las características que probablemente separa a los humanos del resto de la vida en la Tierra es la consciencia de su propia existencia. Esta consciencia individual lleva aparejada de modo indisoluble el planteamiento de cuestiones sobre su propio origen y su destino. Desde ahí resulta inmediato el paso a preguntarse sobre el origen y el destino de todo lo que nos rodea. Y, entre todas las cosas que los primeros humanos veían a su alrededor, figuraban de modo preeminente los objetos del cielo. Para empezar el Sol, que rige el tránsito del día a la noche. A continuación la Luna, que define los meses, ciclos de aproximadamente 29 días en los que las noches son más o menos oscuras, haciéndolas más aptas para cazar o para viajar. En tercer lugar las estrellas, que definen el año, un ciclo de aproximadamente 13 meses lunares en el que se encarnan las estaciones. Con seguridad, la percepción de la constancia mecánica de estos ciclos en la época prehistórica fue el primer acercamiento a la ciencia de nuestros antecesores, al modo en que el simio Moonwatcher observa la Luna en el prólogo de la película *2001: una odisea del espacio*, de Stanley Kubrick y Arthur C. Clarke.

La observación de la inmutable periodicidad del cielo se rompía al comprobar que cinco de los astros no respetaban ninguno de sus ciclos. Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno fueron por tanto considerados como entes dotados de vida propia que se movían por el

cielo a voluntad,¹ dando origen a los mitos de los dioses y sus hogares celestes. La observación del cielo, por tanto, enlaza también con la aparición de la espiritualidad y su engarce con las religiones. No sería hasta el establecimiento del método científico, en la Europa del siglo xvi, que los movimientos de los planetas serían definitivamente entendidos y encajados en la misma visión mecánica del resto de la esfera celeste.

Ambas visiones, la científico-mecanicista y la filosófico-espiritual, han intentado dar respuesta a las preguntas sobre el origen del Cosmos que constituyen la raíz de este libro. En particular, hoy solemos encajar bajo el epígrafe de la cosmogonía el conjunto de principios y modelos sobre el origen del Universo vistos desde un punto de vista filosófico y/o epistemológico, mientras que la cosmología es la ciencia que se ocupa del enfoque físico y/o matemático de las mismas cuestiones. Es la cosmología, por tanto, el objeto de la primera parte de nuestro viaje.

1. La palabra «planeta» viene directamente del griego *πλανήτης* (*planétes*), que significa «errante» o «vagabundo».

Bases del modelo

Al precio de correr el riesgo de explicar el truco antes de hacerlo, presentaremos de modo muy breve las características principales del modelo del origen del Universo que conocemos como «Gran Explosión», en inglés «Big Bang». El motivo es que de este modo podremos utilizar en ocasiones algunos detalles del modelo (como pueden ser la edad actual del Cosmos o sus ingredientes físicos) sin que sea necesario explicarlos en el momento, o dejarlos como algo que el lector necesita asumir.

El modelo del Big Bang se caracteriza por postular que todo el contenido del Universo (materia, energía, espacio y tiempo) aparece de modo súbito en un momento concreto de nuestro pasado. Además, el estado inicial del Universo era una singularidad en la que la densidad, la temperatura y la presión eran infinitas o, al menos, más grandes que cualquier valor que tenga sentido para la física que conocemos. En sus fases más tempranas se inicia un proceso de rápida expansión en todas las direcciones, al que el modelo debe su nombre.

Las primeras ideas que llevarían al desarrollo de esta teoría pueden trazarse hasta el análisis del matemático ruso Alexander Friedman y los modelos del astrónomo y sacerdote belga Georges Lemaître, que entre 1924 y 1927 plantearon la plausibilidad de un Universo en expansión como solución a las ecuaciones de Einstein. Pocos años después, en 1929, Edwin Hubble demostró que, efectivamente, las galaxias se alejaban unas de otras a velocidades proporcionales a las dis-

tancias entre ellas, poniendo así la primera base observacional del modelo.

A lo largo de los años cuarenta y cincuenta, y en combinación con los avances en física nuclear, muchos físicos estudiaron los procesos que podrían haber llevado a la formación de los primeros átomos en el Universo durante la fase de temperatura extremadamente alta que se suponía había seguido inmediatamente al instante original. Así, la comprobación de que la proporción en que aparecían los átomos componentes de los objetos celestes (aproximadamente 75 % de hidrógeno, 25 % de helio, y trazas del resto de los elementos) coincidía con lo esperado de sus cálculos constituyó la segunda prueba observacional sólida de la teoría.

Finalmente, en 1964 se observó por primera vez una radiación de fondo que permea todo el Universo, proveniente de todas las direcciones al mismo tiempo, extremadamente homogénea, y correspondiente a una temperatura ligeramente inferior a 3 grados por encima del cero absoluto. Hoy interpretamos esta radiación como el eco de la propia explosión que dio origen al Universo.

Debemos señalar desde el principio que la idea de «explosión» implica un movimiento rápido de la materia en un espacio preexistente y a partir de un centro, lo que es una analogía totalmente equivocada, ya que el modelo postula la aparición simultánea del espacio, el tiempo y la materia. El tiempo tiene, por tanto, un límite temporal inferior (un instante $t = 0$), mientras que el espacio aparece como infinito desde el primer instante. Los mejores ajustes a todos los datos cosmológicos de que disponemos nos dicen que la edad actual del Universo es 13.800 Ma, con una pequeña incertidumbre de menos de 3 partes en 1.000.

Considerar el espacio como infinito desde el origen es un detalle crucial para entender muchos otros conceptos clave en nuestra visión global del Universo y su historia. Por ejemplo, nuestro *Universo observable* es el fragmento del Universo cuya luz ha tenido tiempo de llegar hasta nosotros. Básicamente es una esfera con un radio que sería de 13.800 millones de años-luz¹ (la distancia que habría recorrido

1. Para los lectores que prefieran unidades conocidas, un año-luz equivale a casi 10 billones de kilómetros, o a 63.000 veces la distancia de la Tierra al Sol. Por

la luz desde el Big Bang hasta hoy) si no fuera porque debemos tener en cuenta la expansión: las partes del Universo que emitieron esa luz hace 13.800 Ma se han ido alejando de nosotros a la vez que la luz se iba acercando. Una estimación razonable del radio físico presente de nuestro Universo observable² es 50.000 millones de años-luz.

Si pudiéramos retroceder en la historia del Universo veríamos que la esfera de nuestro Universo observable era más y más pequeña en el pasado, hasta reducirse a un punto en el momento de la Gran Explosión. De hecho, si miramos con detalle podremos ver que hay dos esferas que van menguando: el volumen físico definido por nuestra esfera a fecha de hoy se comprime simplemente por la contracción del Universo (recordemos que estamos yendo marcha atrás en el tiempo). Pero en cada instante podemos también calcular cuál era la extensión del Universo observable justamente en ese momento, lo que define otra esfera centrada en nosotros. Puede ocurrir que en un momento dado la primera de ellas sea mayor que la segunda, que sean iguales, o lo contrario. Es decir, a lo largo de nuestra historia hay objetos que pueden haber entrado en nuestro horizonte cósmico, y puede haber otros que hayan salido de él. El criterio básico para decidir cuál es el caso es la relación entre la velocidad a la que un cuerpo se aleja de nosotros por el flujo inducido por la expansión del Cosmos y la velocidad de la luz.³

la magnitud de las cifras necesarias, no volveremos a intentar el ejercicio de convertir una de estas unidades «cósmicas» en unidades usuales.

2. La medida de distancias en cosmología es extremadamente compleja. El hecho de que la luz tarde en viajar de un punto a otro y que, mientras tanto, el propio Universo se expanda separando los puntos de origen y destino hace necesario definir varias formas de «distancia» diferentes. En este caso, como casi siempre en cosmología observacional, hemos usado la *distancia comóvil*, que en cierto modo absorbe en su definición la expansión del Universo.

3. La velocidad inducida por la expansión (el «flujo de Hubble») puede ser mayor que la velocidad de la luz, ya que no se trata de un movimiento local sino del inducido por la expansión del propio espacio —cada uno de los objetos está de hecho en reposo respecto al espacio en el que se encuentra—. Una explicación brillante de estas aparentes paradojas y de los conceptos relacionados con el horizonte observable a nivel popular está en Lineweaver y Davis (*Investigación y Ciencia*, mayo 2005).

Las distintas ramas de la física que utilizamos hoy en día, gracias a las cuales podemos abordar los problemas relacionados con el origen del Universo (básicamente teoría de la relatividad general, física de partículas, termodinámica, física nuclear, etc.) nos permiten entender con relativa seguridad los eventos que han ocurrido desde que el Universo tenía aproximadamente una edad de una billonésima de segundo. Antes de ese momento pudo producirse una expansión exponencialmente rápida, en un fenómeno al que llamamos inflación. Antes aún, cuando el Universo tenía la edad de sólo una fracción ínfima de un segundo, se encontraba en una era que llamamos la *época de Planck*,⁴ en la que los efectos cuánticos dominaban a todas las escalas, un momento que no podemos entender por carecer de una teoría válida que combine física cuántica y relatividad general.

En lo que se refiere al contenido del Universo, el mejor ajuste a todas las observaciones se consigue asumiendo que vivimos en un espacio-tiempo plano, es decir, que cumple los tradicionales axiomas de la geometría euclidiana. Aproximadamente el 69% del Universo consiste en una energía misteriosa, cuyo origen desconocemos, a la que llamamos energía oscura. El 31% restante se compone de materia, aunque es necesario señalar que mientras que el 5% es la materia habitual, que podemos ver y sentir a nuestro alrededor, el 26% restante se compone de una materia cuya naturaleza aún hoy no conocemos: la llamamos —también— materia oscura. Cabe recordar aquí que, según la teoría de la relatividad de Einstein, masa y energía son dos caras de la misma entidad, por tanto cuando se realiza el censo del contenido del Cosmos ambas deben tenerse en cuenta.

A lo largo de la primera parte de esta sección repasaremos la física necesaria para entender el modelo de la Gran Explosión, en particular concentrándonos en las partículas elementales, algunas de sus propiedades fundamentales y sus interacciones. Utilizaremos conceptos básicos de termodinámica para estudiar el proceso de enfriamiento que

4. La *época de Planck* es la primera y extremadamente breve fase de la historia del Universo. Aproximadamente corresponde a 10^{-43} segundos, y es la época en la que se supone que el Universo estaba dominado completamente por efectos cuánticos.

el Universo atraviesa desde el propio instante del origen hasta nuestros días, y cómo su contenido va condensándose y cambiando sus propiedades, desde la energética mezcla inicial hasta el gélido Universo que hoy observamos. Repasaremos después las tres principales pruebas observacionales que dan soporte al modelo. Comentaremos algunos aspectos de éste, que no están aún sólidamente establecidos, pero que probablemente lo estarán en un futuro cercano. Finalmente, daremos algunas pinceladas sobre el futuro destino del Universo y sobre sus primeros 9.000 Ma: la creación de las primeras estructuras, la formación y evolución de galaxias, estrellas, y sistemas planetarios, y la generación del marco espacial adecuado para la aparición de la vida.