

# Los grandes problemas cosmológicos: Materia oscura, Reaceleración e Inflación

E. Battaner

*Se ha observado que el Universo tiene una expansión cada vez más rápida; hay una reaceleración del Universo. Probablemente este efecto sea mayor en el futuro, alcanzándose una expansión exponencial. Una expansión así de rápida parece que tuvo lugar en el Universo muy primitivo, en la llamada Era de la Inflación. La explicación es aparentemente diferente: un campo escalar acarreó la inflación; la energía oscura acarrea rá la futura expansión exponencial.*

### 1. La Cosmología de hace una década

Hace unos pocos años la Cosmología parecía estar asentándose sobre unas bases más o menos firmes. Había un acuerdo bastante generalizado sobre los aspectos fundamentales de la historia del Universo. Atrevámonos a resumir muy brevemente lo que entonces se sabía y lo que no se sabía.

El Universo real era el de mayor sencillez matemática posible: el universo plano. Ni cerrado y finito como para que la expansión tarde o temprano se convirtiera en contracción, ni abierto e infinito como para asegurar una expansión indefinida. Vivíamos precisamente en el universo de transición abierto-cerrado, el universo plano, sin curvatura o universo crítico. En él la expansión se detiene, pero en un tiempo infinito. Se empezaba a aceptar  $k=0$ , curvatura nula. O, dicho de otro modo,  $\Omega=1$ , siendo  $\Omega$  la densidad del Universo tomando la densidad del universo crítico como unidad. Para llegar a  $\Omega=1$ , hacían falta grandes cantidades de materia oscura, casi cien veces más que la materia visible.

Cierto es que los astrónomos observacionales (si no lo veo no lo creo) no acababan de encontrar tanta materia, visible u oscura, como para llegar a la densidad crítica del universo plano, pero los astrónomos teóricos (si no lo creo no lo veo) argumentaban decididamente en su favor. Por extraño que parezca, y como pronto veremos, es posible que ambos tuvieran razón.

No es correcto realmente plantear este dilema de la materia oscura como una controversia entre teóricos y observadores. En realidad, fue el gran astrónomo Zwicky, en los años 30, quien introdujo el término de materia oscura, tras observar el relativamente pequeño volumen y las grandes velocidades de las galaxias en un cúmulo. Y fue Bosma, en los años 80, quien puso realmente de manifiesto la imposibilidad de explicar gravitacionalmente la rápida rotación de las galaxias espirales, sin recurrir a la materia oscura. Pero los teóricos requerían más materia oscura que la que podía inferirse con las observaciones. Las teorías de la Inflación, que luego comentaremos, sugerían  $\Omega=1$ .



Observatorio Mohon del Trigo

¿Qué es esa materia oscura?. ¿De qué pasta está hecho el Universo?. La lista de partículas elementales candidatas es grande y, aunque varias posibilidades están descartadas, la longitud de esta lista mide nuestro grado de desconcierto. Pero mientras esta cuestión es fundamental para los físicos de altas energías no lo es tanto para el cosmólogo. Para éste, más importante que el qué son estas partículas es el cómo se comportan, cuál es su ecuación de estado. Aunque inicialmente

se propuso materia oscura caliente (formada por partículas relativistas) hoy la investigación concede más crédito a una materia oscura fría, formada por partículas cuya energía es simplemente muy poco más que su masa en reposo.

El Universo había comenzado en un Big-Bang y desde entonces el Universo no había dejado de expandirse. Eso sí: la gravedad frenaba la expansión. La expansión era cada vez más lenta. Nunca llegaba a detenerse (si  $\Omega=1$ ) pero siempre se frenaba.

Por cierto, los profesores, al explicar esto, solemos juntar las manos como ocultando una diminuta pelota, para luego separarlas paulatinamente, como abarcando un universo invisible de tamaño creciente. Es un gesto feo. Las ecuaciones que gobiernan la expansión son las de la Relatividad General aplicadas a un universo sin bordes. El Universo puede ser finito, pero no tiene que tener bordes. Y si el Universo es infinito, el gesto sacerdotal de abrir los brazos es aún más equívoco.

El conocimiento de la historia térmica del Universo se iba haciendo más y más difícil según nos acercábamos al momento inicial,  $t=0$ , al Big-Bang. Retrocediendo en el tiempo, el Universo era cada vez más denso y caliente, superando pronto las condiciones experimentales del más caro de los laboratorios. La Física Teórica debía entonces guiarnos en el entendimiento de las primeras fracciones de segundo tras el Big-Bang, hasta llegar a un punto para el cual la Física Teórica actual está por desarrollar. ¿Dónde estaba, y sigue estando, ese horizonte de nuestra ignorancia?

Probablemente estaba en lo que se llama el tiempo de Planck,  $10^{-44}$  segundos después del Big-Bang, “aproximadamente”, cuando el horizonte relativista del Universo es del tamaño de una partícula elemental, cuando se unifican las cuatro fuerzas de la naturaleza.

Tampoco se conocía bien la historia reciente del Universo, desde que se han formado las estrellas. Seguía, y sigue, siendo un enigma una simple galaxia. El Universo actualmente es mucho más complejo que lo ha sido nunca (tan complejo que alberga el fenómeno más complejo existente: la vida). Y quizás el Universo futuro, por desgracia, perderá su asombrosa y venerable complejidad. No deja de ser irónicamente resaltante que conozcamos tan mal lo que vemos y “tan bien” lo que no vemos.

## 2. Hasta cuando se equivocaba tenía razón

Desde hace poco más o menos un lustro, no ha habido muchas variaciones con respecto al resumen anterior, aunque sí ha habido una muy importante. Ya no se piensa, como aparecía subrayado en el apartado anterior, que la expansión se vaya frenando. Al contrario, parece que la expansión se va “reacelerando”. Las supernovas más antiguas tienen una posición que no concuerda con su desplazamiento al rojo, según las previsiones de la Cosmología clásica. La expansión es cada vez más rápida. Esto ha producido una convulsión entre los cosmólogos. Una predicción que parecía indiscutible parece resultar falsa.

¿Será posible que un hecho tan extraño como la Reaceleración del Universo pueda explicarse ojeando páginas olvidadas de la historia de la Física?. Hay en ella muchas páginas llenas de vacilaciones, enmiendas y tachaduras. Así son unas páginas que el propio Einstein quiso arrancar, viendo en ellas un orondo borrón en su propia biografía. Las vacilaciones de Einstein en torno a las Ecuaciones de Campo, que hoy llevan su nombre, y en torno a su propia cosmología, son muy conocidas, pero vamos a evocarlas ya que pueden resolvernos la paradoja de la Reaceleración que nos ocupa.

Como Newton propuso en su día los Principios de la Mecánica, propuso Einstein los Principios de la Relatividad General. Después, Newton propuso la ley de Gravitación Universal y, paralelamente, debía proponer Einstein las Ecuaciones de Campo. Estas ecuaciones tenían que proporcionar la curvatura del espacio-tiempo. Si se hacía una descertada elección, se cometía un grave error, evidentemente, pero no tan grave como para que los Principios de la Relatividad tuvieran que quedar en entredicho.

Para hacer esta elección tenía Einstein varias restricciones que sus ecuaciones tenían que garantizar. En primer lugar, las nuevas ecuaciones tenían que proporcionar las clásicas en el caso clásico de gravitación débil. Es decir, en el caso clásico sus ecuaciones tenían que aproximarse a la de Poisson. En ésta, la distribución de densidad de materia proporciona el potencial gravitatorio. En la nueva formulación, el tensor energía-impulso, que tiene en cuenta la distribución de masa (o energía) y momento en torno a un punto, tenía que proporcionar el tensor de curvatura de Riemann.

Las ecuaciones tenían que tener un carácter estrictamente tensorial, expresión matemática con la que los físicos queremos decir que ha de cumplirse para todos los observadores

imaginables. Además, la divergencia del tensor energía-impulso era nula, expresión matemática con la que los físicos queremos decir que ha de respetarse las leyes de conservación de energía y momento. Pero la restricción que más nos interesa destacar ahora es la ya mencionada, que la nueva geometría tenía que proporcionar la ecuación de Poisson en el caso clásico.

Así estableció Einstein sus conocidas Ecuaciones del Campo. Pero, al aplicarlas al Universo como un todo, llegó a la más “absurda” de las conclusiones: el Universo estaba en expansión. No, no; el Universo tenía que ser estático. Entonces, añadió un remiendo en las Ecuaciones del Campo. Añadió el llamado Término Cosmológico,  $\Lambda$ . Desde el punto de vista tensorial esto era perfectamente lícito. En cambio, con este remiendo ya no se obtenía la ecuación de Poisson en el caso clásico, violando una de las restricciones que él se había impuesto. Sin embargo, el término correctivo suponía una variación numéricamente pequeña a nuestra escala, inobservable experimentalmente. Y así podía él fabricar el universo estático a su gusto.

El universo de Einstein, teniendo en cuenta el Término Cosmológico,  $\Lambda$ , era un universo cerrado,  $k=1$ . El radio del universo, inmutable, era proporcional a  $\epsilon^{-1/2}$ , siendo  $\epsilon$  la densidad de energía.

Pero al cabo de más de diez años Hubble descubrió que el Universo está en expansión. Einstein vio que lo que hubiera sido su predicción más asombrosa se había malogrado por su prejuicio de considerar estático al Universo. Pidió entonces a la comunidad científica que olvidara el Término Cosmológico, que se había equivocado. Pero... ¡era entonces cuando se equivocaba!. El Término Cosmológico puede explicarnos la Reaceleración del Universo. Afortunadamente, la comunidad científica no lo olvidó del todo. Y es que un científico no es el dueño y señor de los términos que crea.

Y sin embargo, Einstein tenía muy serias razones para borrar aquel maldito término,  $\Lambda$ , esculpido por su imprudente lápiz. Él, que había acostumbrado a los físicos a concepciones inauditas, sobre la dilatación de los intervalos de tiempo, sobre la identificación de la materia y la energía, y muchas otras más, se daba cuenta de que  $\Lambda$  suponía una revolución cultural aún mayor.

El Término Cosmológico equivalía a suponer una “expansividad” del vacío. Dos partículas aisladas en el Universo tenderían a separarse obedeciendo al carácter expansivo del vacío, independientemente de la masa o de cualquier otra propiedad de las partículas. (De hecho, el universo de Einstein suponía un equilibrio entre gravedad y expansividad).

Si las partículas, partiendo del reposo, se van separando, el Principio de Conservación de la Energía parece no cumplirse, a no ser que las partículas extraigan su energía del vacío. Si el vacío tiene energía (o materia, tanto monta, monta tanto) no es vacío. Esto, en tiempos de Einstein, era inimaginable. Si  $\Lambda$  “existía” había subyacente, en cualquier rincón del Universo, una energía del vacío, lo que hoy llamamos “Energía Oscura”.

Término Cosmológico, expansividad del vacío y energía oscura, son sinónimos.

El “acertado error” de Einstein había sido motivado por otro grave error, éste quizás menos disculpable. El universo

de Einstein correspondía a un equilibrio, pero a un equilibrio inestable. Supongamos compensadas gravitación y expansividad. Si el universo sufre una expansión infinitesimal,  $\Lambda$ , al ser constante, sigue exigiendo la misma expansividad, mientras que, al haber disminuido la densidad, la gravedad disminuye. Por tanto, a una expansión infinitesimal sucedería una expansión más y más rápida. Lo mismo ocurriría en el caso de una contracción infinitesimal perturbativa. El universo de Einstein era inestable, es decir, imposible. ¡Tanta revolución para justificar un universo absurdo! (¿o todos los universos son absurdos?; Había que borrar  $\Lambda$ , eso era fácil. Lo difícil es que el Universo perdiera su expansividad obedeciendo a la goma de Einstein. Hoy creemos que  $\Lambda$  "existe". La verdad se abre paso a trancas y barrancas.

### 3. El Universo reacelerado

Como vimos, hoy se acepta  $k=0$ , o equivalentemente,  $\Omega=1$ . Los nuevos datos de la Radiación de Fondo, parecen respaldar esta hipótesis. Pero la contribución de la materia es solo de  $\Omega_m = 0.3$ , aproximadamente. El restante 70% corresponde al Término Cosmológico, a la energía oscura, que tendría, por tanto,  $\Omega_\Lambda=0.7$ , aproximadamente. De esta forma, se tendría  $\Omega = \Omega_\Lambda + \Omega_m = 1$ . El valor relativo de la densidad de energía oscura debe ser definido como:  $\Omega_\Lambda = \Lambda/(3H^2)$ , siendo  $H$  la constante de Hubble, o mejor, la función de Hubble.

Cuando el Universo era muy pequeño, la energía oscura era despreciable frente a la energía de los fotones y de la materia oscura. Consecuentemente, el Universo tenía una expansión decelerada. Pero hace (relativamente) poco tiempo, apareció el nuevo ingrediente dinámico: la energía oscura. Y en el futuro la energía oscura será el efecto dominante en la evolución del Universo. ¿Cómo será éste, en la próxima Era de la Energía Oscura?

De Sitter se planteó un problema de café. ¿Cómo sería la expansión si  $\Lambda$  fuese dominante?. Pudo resolverlo en muy poco tiempo, empleando no más de una cuartilla. Este placentero ejercicio académico proporcionó fácilmente una solución que describe nuestro futuro. El universo de de Sitter se expande exponencialmente.

Sabemos que el Universo tiene unas propiedades de expansión y enfriamiento que dependen no sólo de las ecuaciones, sino también de la ecuación de estado. En el caso de la energía oscura, ésta resulta ser:

$$P_\Lambda = -\varepsilon_\Lambda$$

Donde  $P_\Lambda$  es la presión hidrostática y  $\varepsilon_\Lambda$  la densidad de energía. Esta ecuación de estado es de difícil interpretación intuitiva. La presión es negativa. Es como si una región del Universo tuviera, no que vencer la presión ejercida por sus vecinas, sino, más bien, siendo absorbido por ellas. De ahí la expansión desbocada exponencial del Universo futuro.

Al llegar a la solución de de Sitter, nos acordamos que el universo inflacionario también estaba caracterizado por una expansión exponencial. La gran diferencia es que la Inflación dominaba el Universo muy primitivo, denso y caliente, probablemente cuando la densidad de energía era la correspondiente a la transición de fase GUT, cuando la interacción fuerte se separó de la electrodébil, en una rotura espontánea de simetría. En cambio, la expansión exponen-

cial acarreada por la energía oscura ocurrirá en el futuro, allá por los  $10^{12}$  años después del Big-Bang.

Los mecanismos parecen completamente diferentes pero tienen el mismo resultado. ¿Podemos aprovechar esta similitud para comprender mejor uno y otro?. Porque la expansividad del vacío es difícil de intuir pero la Inflación aún lo es más. ¿Qué quiere decir realmente que la Inflación y la Reaceleración son procesos diferentes?. Acerquémonos al universo inflacionario, allá por los  $10^{-38}$  segundos después del Big-Bang.

Antes de hacerlo, habría que llamar la atención sobre el hecho de que, realmente, el Big-Bang, tan asumido hoy hasta en la sabiduría popular, no está demostrado. Es una conclusión de la Relatividad General, en unas condiciones de densidad y temperatura, para las que sabemos que la Relatividad General deja de ser válida. El propio Einstein decía: "...No se puede asumir la validez de las ecuaciones para densidades muy altas y es posible que en una teoría de unificación no exista esa singularidad".

### 4. El universo inflacionario

Al menos inicialmente, se atribuía la Inflación a una transición de fase cosmológica, precisamente a la correspondiente a la rotura espontánea de simetría GUT, cuyo parámetro de orden,  $\Phi$ , era el valor esperado del vacío de un campo escalar. Cuando el término cinético es despreciable se obtiene precisamente:

$$P_\Phi = -\varepsilon_\Phi$$

Y así resulta la expansión exponencial.  $\Lambda$  y  $\Phi$  producen una evolución igual y puede hablarse de un  $\Lambda$  equivalente en la Inflación o de un campo escalar en la Reaceleración. El valor esperado del vacío del campo escalar es la densidad de energía.

En la primera teoría inflacionaria se admitió que ese campo escalar era el Higgs, responsable conductor y parámetro de orden de la transición de fase GUT. Luego fue sustituido por un hipotético "inflatón". Es curioso que siendo la naturaleza de la inflación tan desconocida haya un acuerdo tan generalizado de que sí que hubo una inflación. Hay muchas teorías GUT y, ni siquiera, hay convicción de que la inflación esté asociada a la transición GUT. Hay teorías de inflación caótica, estocástica, eterna... sin que haya pruebas observacionales a favor de una u otra. Sin embargo la inflación resuelve problemas astrofísicos esenciales, de los que voy a destacar tres.

#### 4.1. El horizonte

El Universo es homogéneo; lo dice el Principio Cosmológico. La homogeneidad en la distribución de materia a la mayor escala observable y la isotropía de la radiación de fondo así parecen confirmarlo. Y, con toda probabilidad, el Universo fue mucho más homogéneo, a todas las escalas, en el pasado. Pero... ¿por qué?

Parece una pregunta demasiado profunda, filosófica, y estamos tentados de responder: "el Universo es así, simplemente; son condiciones iniciales; podría haber sido de otra forma". Hay algo de frustrante en esta respuesta. Pongamos aún más el dedo en la llaga. Hay un horizonte relativista: lo

que está más allá de este horizonte no puede verse porque, al ser finitos tanto la velocidad de la luz como la edad del Universo, ni la luz ni la información han tenido tiempo de llegar hasta nosotros. Lo que está más allá del horizonte relativista está desconectado causalmente de nosotros. Claro que el horizonte va alejándose de nosotros al transcurrir el tiempo. Pues bien: al observar la radiación de fondo observamos isotropía en una escala angular muy superior ( $>1^\circ$ ) al horizonte relativista cuando se emitió la radiación de fondo ( $t = 10^6$  años). ¿Cómo es posible que haya tanta conjunción en regiones que nunca estuvieron conectadas causalmente?. ¿Cómo puede haber homogeneidad si un mecanismo homogeneizador no tuvo tiempo de actuar?. ¿Simplemente, es así?.

La teoría de la Inflación tiene una respuesta científica a este dilema, antaño considerado filosófico. Durante la Inflación la expansión exponencial fue más rápida que el horizonte. Por esta razón quedaron desconectadas causalmente regiones que sí habían estado conectadas antes de la Inflación, con una expansión más lenta. Posteriormente, hace relativamente poco tiempo, en la época de la Recombinación, han vuelto a estar conectadas regiones que habían estado desconectadas en la Inflación. Podemos observarlas y las observamos homogéneas porque ya anteriormente, antes de la Inflación, estuvieron conectadas.

En esta interpretación hay algo preocupante. Vivimos en una burbuja de homogeneidad, que se homogeneizó antes de la Inflación, pero la homogeneidad de todo el Universo (aún no observable) no está garantizada ni supuesta. Viene a decir que el Universo observable es homogéneo, pero no el Universo, en general. ¿Será posible que cuando el horizonte relativista se aleje lo suficiente nos encontremos un Universo heterogéneo?

Estas reflexiones se comprenden mejor con la figura 1, que exige una pequeña explicación. En función del tiempo, en la parte superior de la figura, se representa el factor de escala cósmica,  $a$ , (también llamado radio del Universo), tomando como unidad su valor actual. Así pues,  $a=1$  en la

actualidad, y tomó valores más y más pequeños en el pasado. Este factor de escala cósmica nos viene a decir cómo ha sido de grande el Universo en las distintas épocas. El tiempo se ha dividido en cinco eras: antes de la Inflación ( $t < t_i$ ), Inflación ( $t_i < t < t_f$ ), post-Inflación, básicamente dominada por la radiación ( $t_f < t < t_{eq}$ ), Materia (tras la época de la Igualdad,  $t = t_{eq}$ , dominada ya por la materia y era de la dominación del Término Cosmológico. Vemos cómo ha ido creciendo el Universo en las distintas eras.

La parte inferior de la figura representa la evolución del horizonte relativista, pero como queremos compararlo con el tamaño del Universo, representamos el horizonte "comóvil", dividiendo por  $a$ . Así evitamos la molestia de discutir sobre dos curvas siempre crecientes. Las líneas horizontales en esta gráfica inferior representan el tamaño de una región, invariable si hablamos de su tamaño comóvil. Concretamente, la línea horizontal de puntos representa la región del universo observable hoy.

Cuando la línea continua del horizonte está por encima de la línea de puntos del tamaño del universo observable, estamos en condiciones de conexión causal. Vemos que hay dos intervalos de tiempo en los que el horizonte emerge por encima de la línea discontinua. Y vemos cómo regiones que estuvieron conectadas antes de la Inflación, quedaron desconectadas en la Inflación y hoy han vuelto a quedar conectadas. Pero (¡y esto es dramático!) volverán a quedar desconectadas por efecto de la energía oscura, cuando sea dominante. Nuestros "descendientes" (si los hay) no podrán ver muchas de las galaxias (si quedaran) que hoy vemos. La carrera entre el horizonte y el tamaño del Universo, tras distintos adelantamientos, será ganada por éste último.

Con esta gráfica y llevando la discusión al terreno cuantitativo puede deducirse que el Universo en la Era de la Inflación creció en un factor de más de  $10^{23}$ , probablemente mucho más.

## 4.2. La planitud

Hoy pensamos que el Universo es plano. Pero... ¿por qué es plano?. Nuevamente podemos responder: "Sencillamente, es así. ¿Por qué no habría de serlo?". Si empezó siendo plano no ha podido perder su planitud; son condiciones iniciales". Pero hay algo de regusto religioso en esta respuesta. Nuevamente, la inflación puede darnos una respuesta más científica.

No es difícil exponer esta respuesta en román paladino, por lo cual el paladinador recurre a un símil, con todos los riesgos que esto conlleva. Imaginemos que sobre un globo desinflado dibujamos una pequeña línea curva. Luego, inflamos el globo y la pequeña curva sigue viéndose, pero ahora ya no parece tan curva; la curvatura, de hecho, ha disminuido, tanto más cuanto más inflemos el globo.

Según esta explicación, no es que el Universo sea plano, sino que su curvatura es inapreciable. También es posible que en otras macroburbujas del Universo la curvatura sea la contraria. Con esta explicación en mano, puede calcularse que durante la Inflación el Universo aumentó su tamaño en un factor de más de  $10^{28}$ , probablemente mucho más.

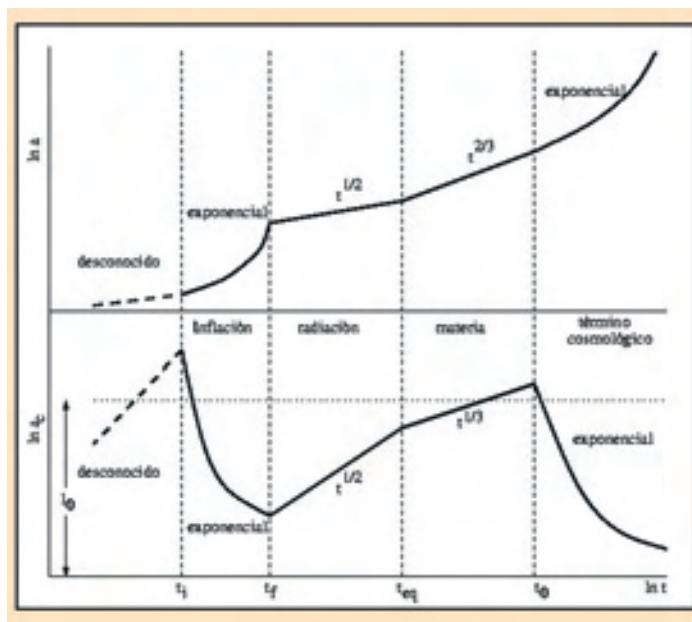


Figura 1

### 4.3. El magnetismo cósmico

Una vez creado un campo magnético en un sistema astrofísico típico es relativamente fácil mantenerlo, amplificarlo y ordenarlo. Pero necesitamos un campo semilla previo. Lo que es difícil es destruirlo una vez creado. Es muy posible que las galaxias nacieran ya magnetizadas (e incluso que el magnetismo provocó su formación) y que el origen último del campo magnético, la magnetogénesis, haya que buscarlo en tiempos muy primitivos.

Sin embargo, la Era Radiativa, desde  $z=10^{10}$  hasta  $z=10^4$ , aproximadamente, es inhóspita para el campo magnético. La destrucción del campo en esta era se debe a la difusión facilitada por una resistividad alta. La gran densidad de fotones entorpece el movimiento de los electrones, disminuyendo la conductividad eléctrica. En estas condiciones, el campo magnético tiende a desaparecer, pero desaparece por difusión. Pero evidentemente, la difusión no puede llevarse a cabo en escalas mayores que el horizonte. El razonamiento de la homogeneización puede volver a recurrir. Pudo haberse creado en la Inflación y adquirir en ella escalas de coherencia mayores que el horizonte posterior. Estas grandes células de coherencia sí que tienen capacidad de resistir la difusión en la Era Radiativa y pueden aparecer con un tamaño sub-horizonte en la Era de la Materia, en la que ya sí que puede considerarse una conductividad prácticamente infinita. El acoplamiento con la gravedad, o el inflatón, etc., pudo evitar la gran dilución del campo magnético durante el período inflacionario.

¿Puede intuirse cómo la Inflación puede proporcionar un campo magnético con una cierta escala de coherencia?. Imaginemos un fotón, una onda de los campos eléctrico y magnético, alcanzado por la expansión exponencial inflacionaria, que hace que los campos magnéticos de unas regiones

y otras, dentro de la misma longitud de onda, queden desconectados. Se puede encontrar así un campo magnético ya no asociado a una onda luminosa. Igual suerte correría el campo eléctrico pero éste se destruye por la alta conductividad de otras Eras, en particular la de la Materia.

El problema del origen del Magnetismo Cósmico fue destacado por V. Trimble, en la última reunión de la Sociedad Española de Astronomía (SEA) en Toledo, como uno de los grandes retos de la astrofísica de la presente década. Probablemente se necesiten grandes células de coherencia del campo magnético que sólo pueden generarse en la Era de la Inflación.

### 5. Epílogo

Vivimos los humanos en una época de transición: entre la Era de la Materia y la Era de la Energía Oscura. ¿No es esto una casualidad?. El Principio Antrópico parece estar detrás de estas casualidades. Como no es verosímil que la vida haya generado esta transición, pudiéramos pensar que esta transición ha sido necesaria para la vida, al menos para la formación estelar que la posibilita. Surge entonces una pregunta inquietante: ¿cómo la energía oscura y la reaceleración han podido facilitar la formación de estrellas, planetas, organismos vivos y hombres?. Aunque los modelos actuales de formación galáctica prevén escenarios diferentes si se incluye o no el Término Cosmológico, no parece que esta pregunta tenga una respuesta inmediata. Pero puede que tenga una respuesta.

**E. Battaner**

Departamento de Física Teórica y del Cosmos



## ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE CIENTÍFICOS

[www.aecientificos.es](http://www.aecientificos.es)

**L**a revista ACTA CIENTIFICA Y TECNOLOGICA, de la Asociación Española de Científicos (AEC), publica en su número 6 un artículo titulado "En el Centenario de las Reales Sociedades de Física y Química" de Antonio Moreno, así como las cartas de los presidentes de las Reales Sociedades de Física y Química.

La AEC quiso contribuir a la conmemoración del Centenario dando cabida en las páginas de su revista a un artículo sobre la historia de las Reales Sociedades que presenta sus orígenes regeneracionistas, su evolución y lo que su existencia supuso en nuestro panorama científico.

Complementan este artículo sendas cartas de los presidentes de ambas Reales Sociedades, Gerardo Delgado y Luis Oro resumiendo algunas de las actividades actuales de cada una de ellas y sus proyectos de futuro.

Las personas interesadas en recibir gratuitamente la revista, deberán enviar un correo electrónico a [aecientificos@aecientificos.es](mailto:aecientificos@aecientificos.es) o enviar una carta a Asociación Española de Científicos, Apartado de Correos 36500, Madrid 28080. La revista se enviará hasta el final de existencias.