

Ciencia y esperanza

Pedro J. Hernández
pjhdez@navegalia.com

Versión de agosto de 2004. Cualquier comentario será bienvenido.
 No reproducir sin permiso.

“Me interesa el futuro porque pienso pasar allí el resto de mi vida”. Anónimo

El último argumento que parece sobrevivir entre conocidos escépticos y científicos como justificación de la necesidad de la religión es que ésta proporciona la esperanza y el sentido de la existencia humana. La ciencia parece sugerir sin embargo que como individuos y como especie no somos más que una forma temporal de organización de la materia condenados a la extinción. Pero la mayoría de los hombres —incluidos muchos científicos— están necesitados de esa esperanza que sólo la religión parece proporcionar.

En este artículo pretendo mostrar cómo dentro de la ciencia podemos encontrar esa esperanza y cómo la ciencia nos puede proporcionar escenarios futuros mucho más interesantes e imaginativos de lo que nunca nos proporcionó la religión. Estos escenarios serán ampliamente comentados, por lo que el artículo puede ser utilizado como una revisión del estado de las previsiones informadas del futuro a muy largo plazo, lo que se ha venido en denominar escatología cósmica.

Contenidos

Introducción. ¿Son compatibles ciencia y religión?

1. La esperanza perdida
2. La esperanza recuperada: cambiando de formato material
3. El futuro desolador del universo
 - 3.1. El futuro a corto plazo: impactos de asteroides, explosiones de supernovas y fuentes de rayos gamma.
 - 3.2. El futuro a medio plazo: la muerte del Sol y la fusión con Andrómeda
 - 3.3. Agujeros negros y desintegración final de la materia
4. El futuro de la civilización
 - 4.1. Valores e intenciones
 - 4.2. Escapando del primer Armagedón
 - 4.3. Conquistando la Galaxia
 - 4.5. Civilización y eternidad
 - 4.5. Mensaje en una botella cósmica
 - 4.6. Re-inventándonos a nosotros mismos
 - 4.7. Sacándole provecho al fuego eterno
 - 4.8. Emulando el universo: la resurrección de los muertos
 - 4.9. Matriz Reloaded
 - 4.10. Universos paralelos
5. El Día del Juicio Final
 - 5.1. La bestia desatada

Conclusiones

Apéndices

- I. Capacidad computacional del cerebro
- II. Densidad crítica y destino del universo

Referencias

Introducción: ¿Son compatibles ciencia y religión?

“Si la ciencia nos da verdad, la moralidad el bien y el mal y la política la justicia, la religión es el campo de la promesa y la esperanza”.

Paul Kurtz

La creencia religiosa no es más que en última instancia esperanza: esperanza en un mundo y una vida mejor. Algunos, después de asistir a aburridas lecciones matutinas de física, química y biología, meditamos durante largos años y caemos en una forma práctica de pensar que podemos denominar materialismo ateo —agnóstico para los puristas— que se limita básicamente a la satisfacción de la honradez intelectual que consiste en aceptar los que los hechos parecen indicar: *“Con una vida hay bastante. Pone fin a las cosas de manera simple y elegante. De lo contrario el universo sería demasiado confuso”*. O como mucho en buscar un sentido poético de nuestra corta existencia.

Sin embargo, el hecho de que muchos ateos prácticos, aún viviendo vidas plenas de sentido, compartan la esperanza humana de mundos y vidas mejores, les ha hecho caer en diversas formas de misticismo. Podría así parecer sorprendente que un conocido escéptico y divulgador científico como Martin Gardner no haya podido evitar caer en formas algo sofisticadas de dualismo materia-espíritu para justificar aquello que excusa perfectamente su condición inevitable de ser humano.

Justificada así la necesidad humana de la religión, ya sólo nos faltaba —como escépticos y materialistas ateos prácticos— la corrección política con las grandes religiones y dejar delimitados nuestros campos de actuación con las palabras que figuran como cita encabezado de esta sección de concordia de otro conocido filósofo y escéptico como Paul Kurtz [Kurtz 2002]. Esta posición de corrección política respecto de la religión parece haberse generalizado entre muchos hombres de ciencia, siendo los ya fallecidos el astrónomo Carl Sagan y el paleontólogo Stephen Jay Gould dos de los más conocidos. La idea básica es que los dominios de aplicación de ambas disciplinas son disyuntos: la una nos enseña cómo es el mundo y la otra cómo vivir en él para poder ir al siguiente.

En un debate televisivo titulado *Can Science Seek the Soul? —¿Puede la Ciencia encontrar el Alma?—*, el parapsicólogo Charles Tart decía algo que, aunque fuera de contexto, me parece tremendamente significativo:

Los seres humanos tienen necesidad de significado. Tienen la necesidad de sentir que son parte de algo más grande que ellos mismos. La gratificación biológica no es suficiente. Algunos de los tipos de significados que ha creado la humanidad son irrazonables. Necesitamos algo más profundo. Nuestras religiones tradicionales solían proveernos de significado, diciéndonos: “no estás solo, sino que eres parte de la gran escena que es el mundo y existen cosas que debería hacer y cosas que no”. Esa tradición religiosa no funciona más para un montón de gente, porque están basadas en creencias, muchas de las cuales no encajan en la imagen científica del mundo. Necesitamos una espiritualidad práctica que sea consistente con nuestro conocimiento científico.

Desde luego que Tart en realidad pretende que esa "espiritualidad práctica" no sea más que la parafernalia de supuestos poderes psíquicos a la que nos tiene bien acostumbrados.

Personalmente considero el dualismo, y en último término a la religión, no sólo incompatibles con nuestra visión científica del mundo sino innecesarios tanto desde un punto de vista explicativo, como en su vertiente más sentimental. La razón que me lleva a este punto de vista minoritario tiene una parte simple y directa y otra parte mucho más elaborada y controvertida.

La parte simple consiste en los hechos: tenemos modelos perfectamente factibles —aunque no necesariamente acabados en todos sus detalles— de cómo se creó el universo, cómo funciona, cómo se creó la tierra y cómo surgió el hombre sin necesidad de ningún tipo de dualismo ni intervención divina. Por otro lado, no existe ninguna evidencia material —e independiente de los testimonios personales— de la existencia de algo

espiritual, tanto en el ser humano como fuera de él. Digamos que esta parte es la que acepta sin demasiados problemas cualquier persona científicamente informada y ha sido ampliamente discutida en la bibliografía [Stenger 2002].

La intención de este artículo es sin embargo desarrollar la parte más controvertida del argumento. Trataré de mostrar al lector que aún dentro de la ciencia hay lugar para la utopía, e incluso en un grado que convierten la tradición religiosa de cielos, infiernos, reencarnaciones y resurrecciones en cuentos infantiles con muy poca imaginación. Y para aquellos creyentes y no creyentes para los que no sólo la injusticia y la falta de utopías consumadas, sino incluso la desaparición personal represente la pérdida del sentido de la vida humana, espero convencerlo de que la ciencia tiene muchas y buenas cosas que ofrecer.

1. La esperanza perdida

Créeme, si un hombre no conoce la muerte, no conoce la vida.

Lionel Barrymore en Grand Hotel

El miedo a la muerte puede nublar incluso a una de las mentes más racionales de todos los tiempos. Se cuenta que el gigante de la ciencia John von Neumann se convirtió al catolicismo en los últimos momentos antes de la muerte —a causa de un cáncer terrible— a pesar de haber sido agnóstico durante toda su vida.

¿Qué esperanzas reales de alargar la vida humana podría haber tenido von Neumann en el presente?. Pese a

lo mucho que nos quiera vender la industria anti-envejecimiento, la realidad es que el número máximo de años que podemos vivir parece estar fuertemente limitado por el éxito evolutivo de genes que favorecen la reproducción a corta edad. Se puede pensar actualmente en terapias génicas que mejoren algo esta situación, pero nadie puede realmente imaginar cómo prolongar ilimitadamente la vida a un cuerpo humano. Y en cualquier caso nadie puede evitar que existan “accidentes irreparables” [ver tabla 1]. Al respecto, recuerdo una de esas amenas charlas con los testigos de Jehová en la puerta de casa. Después de oír su versión del “nuevo reino” donde los elegidos serían resucitados, pregunté intrigado qué pasaría con esos “inmortales” si se caían de un sexto. No recuerdo la respuesta exacta, pero sí el extraño sentido de ridículo cósmico que experimenté al oírla.

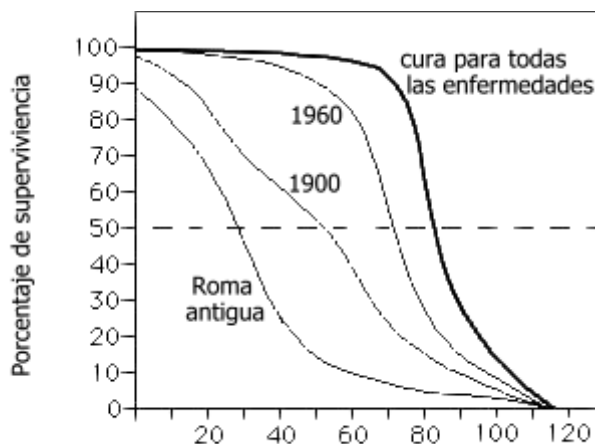


Figura 1. Variación de las curvas de supervivencia en países occidentales. Se puede ver la tendencia invariable del límite superior de edad posible (en torno a 115-120 años). Adaptada de Minsky [1994].

	Total	Varones	Mujeres
Total enfermedades	1.000	526	474
Enfermedades isquémicas del corazón	109	62	47
Enfermedades cerebrovasculares	102	42	60
Insuficiencia cardíaca	53	18	35
Cáncer de bronquios y pulmón	48	43	5
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	46	34	12
Demencia	29	9	20
Diabetes	26	10	16
Cáncer de colon	24	13	11
Neumonía	21	11	10
Cáncer de estómago	17	10	7
Accidentes de tráfico	17	13	4
Cáncer de mama de la mujer	16	---	16
Insuficiencia renal	15	7	8
Cáncer de próstata	15	15	---
Enfermedad de Alzheimer	15	5	10
Enfermedad hipertensiva	14	4	10

Tabla 1. ¿De qué moriremos?. Principales causas de muerte en España por cada 1000 habitantes correspondientes al año 2000. Fuente: www.ine.es

En los últimos años ha aparecido una corriente de pensamiento conocida como Transhumanismo cuyo punto de partida es el rechazo a la idea tradicional en política y futurología de constancia en el tiempo de la condición humana actual. Aunque algunas corrientes dentro del transhumanismo no descarten las posibilidades de alargar la vida mediante terapias génicas avanzadas o auto-reparación de errores con máquinas nanométricas —capaces de manipular un material átomo a átomos— y confíen en que este tipo de técnicas esté disponible en un futuro tan próximo como para que la crionización sea una opción factible, éstas serían claramente opciones que no evitarían la muerte por algún tipo de accidente, más sólo la retrasarían un pequeño suspiro en la inmensidad del tiempo.

7. 2. *La esperanza recuperada: cambiando de formato material*

“Usted insiste que hay cosas que una máquina no puede hacer. Si me dice de forma precisa lo que una máquina no puede hacer, entonces yo siempre puedo hacer una que haga exactamente eso mismo que usted me ha dicho”.

John von Neumann en una charla sobre ordenadores, impartida en Princeton en 1948

Nuestras mentes son con toda probabilidad sistemas físicos procesadores de información. Hay una cierta corriente en contra de esta idea y se oye habitualmente eso de que nunca podrá existir una máquina que pueda hacer lo que hace la mente humana. La mejor respuesta a esta afirmación de la que tengo noticia figura como cita encabezado de este apartado. Pero incluso dentro de los círculos de investigadores en inteligencia artificial (IA) se ha venido cumpliendo una especie de ley implícita conocida como teorema de Tesler: una vez programada determinada función mental, la gente deja muy pronto de considerarla un ingrediente esencial del “pensamiento real”.

Que el cerebro humano sea el resultado de un proceso algorítmico de mutación y selección natural parece un argumento directo dentro del neodarwinismo [Denett 1995] y por tanto no hay ninguna razón obvia para pensar que el fantasma en la máquina no sea más que el acto de computación clásica de varios módulos acoplados [Minsky 1991]. Sin embargo gente de talento —siendo el filósofo J.R. Lucas y el físico Roger Penrose algunos de los más populares— han dedicado bastante esfuerzo en intentar demostrar lo contrario, cayendo en la falacia de algún tipo de dualismo explicativo [Denett 1995].

Curiosamente, esta posición —a veces conocida como IA dura— ha sido considerada como una visión pesimista del ser humano. Pero si la consciencia —entendida en el sentido trivial de *lo que el cerebro hace*— no es más que un mero proceso computacional, podemos pensar en simularla en un ordenador. ¿Cuándo tendremos hardware suficientemente poderoso para tal hazaña?. Una estimación orientativa de la

capacidad de cómputo del cerebro es de unas 10^{17} ips (cien mil billones de instrucciones por segundo).

Un ordenador modesto del presente puede alcanzar fácilmente los 10 Ghz —o equivalentemente del orden de unas 10^{10} ips—. Si aceptamos la validez de la ley de Moore —“La capacidad se duplica cada 18 meses”, que podría incluso ser mejorada con un cambio de tecnología en la fabricación de microprocesadores— antes de unas tres décadas un ciudadano medio podría disponer de una máquina con capacidad “cerebral” de cómputo.

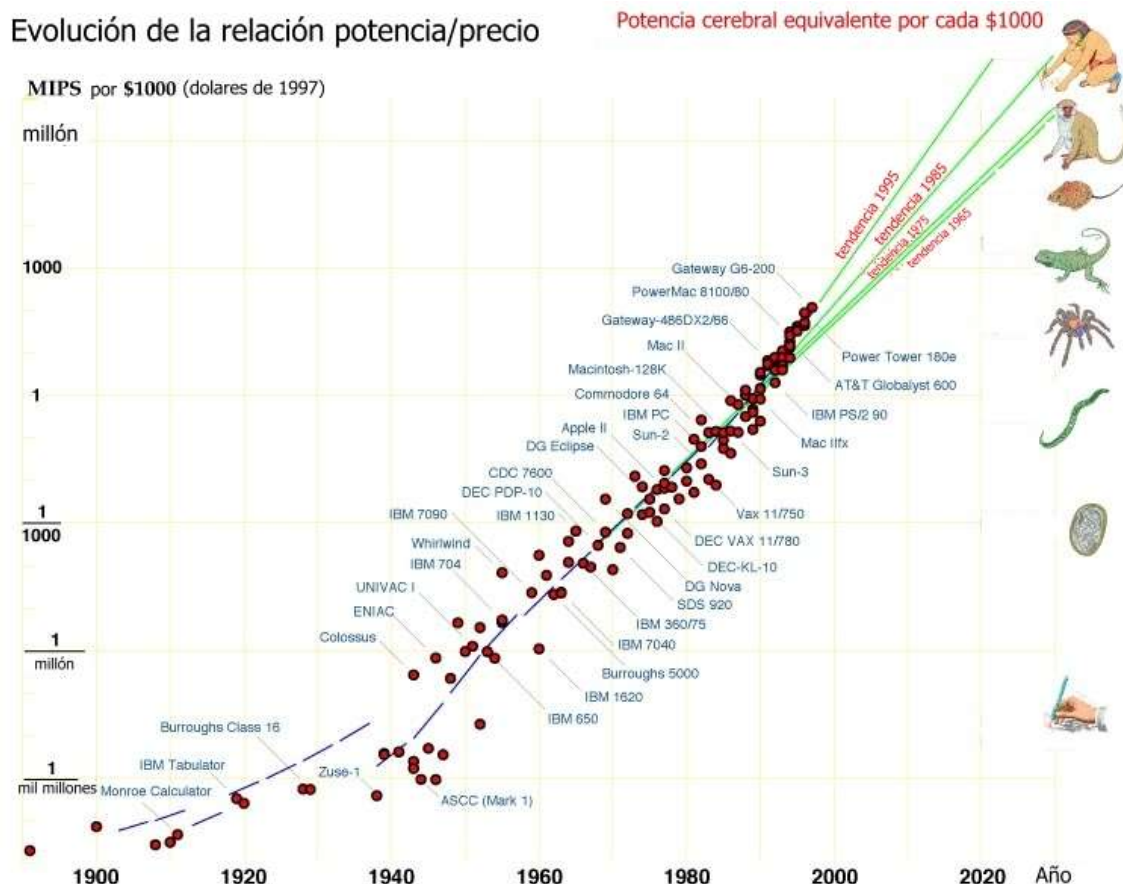


Fig 2. Evolución temporal de la potencia de cálculo en Mips (millones de instrucciones por segundo) por cada \$1000 de 1997. El aumento progresivo de la inclinación de la tendencia implica que la evolución es más rápida que una exponencial —una línea recta en esta representación—. Adaptada de Hans Moravec 1998: "When will computer hardware match the human brain?", *Jour. of Transhumanism*, Vol.1; <http://www.jetpress.org/>.

Un problema más complejo de resolver podría ser el del software. Para implementar un software adecuado para la tarea de simular “inteligencia humana” probablemente necesitemos conocer mucho más sobre el funcionamiento del propio cerebro. Sin embargo, no hay razón para ser pesimista si consideramos el estado primitivo —por no decir inexistente— de la neurociencia computacional tan sólo veinte años atrás.

La consecuencia de todo esto podría ser aún de mayor alcance: en un futuro relativamente próximo —del orden de medio siglo— casi cualquiera podría disponer de máquinas de cómputo con inteligencia incluso mayor que la humana [Bostrom Homepage].

Quizás esas máquinas super-inteligentes terminen por ser nuestros descendientes del futuro, o quizás coexistan con el homo sapiens. Quizás se pueda hacer una simulación perfecta —emulación— del cerebro en ordenadores de ese futuro y “subamos” nuestras mentes como si se tratasen de ficheros para vivir en entornos virtuales cuya velocidad de procesamiento podría elevarse tanto que dichas vidas virtuales fueran tremendamente largas en “tiempo subjetivo”, pero no necesariamente largas en tiempo físico. Y por qué

no imaginar una recreación virtual de todos nuestros antepasados y traer de nuevo a la vida a todos los seres humanos que han vivido hasta la fecha. O a todos los seres humanos posibles. Y por qué no, ponerlos en todos los entornos virtuales posibles, vivir todas las vidas posibles para siempre —en tiempo subjetivo—

Ahora que sabemos que el paraíso prometido de la religión no existe, por qué no utilizamos nuestra ciencia y tecnología del futuro para crear paraísos a gusto del consumidor. ¿Cuáles son las posibilidades y/o los límites de una idea que ha calado en el cine de ciencia ficción de los últimos años en filmes tales como *Matrix*, *Planta 13* o *Abre los ojos*?

8. 3. El futuro desolador del universo

Este universo actual ha evolucionado desde una condición primitiva inefablemente extraña, y tiene ante sí una futura extinción en el frío eterno o el calor intolerable. Cuanto más comprensible parece el Universo, tanto más sin sentido parece también.

Steven Weinberg en Los Tres Primeros Minutos del Universo.

Los fenómenos tremendamente violentos que se producen en el universo hacen de lugares como la superficie de Plutón o la mismísima atmósfera solar verdaderos oasis apacibles. Vivimos sin duda en un universo tremendamente hostil para la vida, aunque no en grado suficiente como para que no podamos estar aquí planteándonos estas cuestiones. Sin embargo, nuestros mejores modelos del origen del universo parecen mostrar que la cosa podría haber sido mucho peor. Los universos más naturales en estos modelos serían aquellos que colapsarían en apenas unos pocos tiempos de Planck (10^{43} s) o vacíos inmensos que se expandirían a un ritmo exponencial. El hecho de que nuestro universo se halle actualmente en una especie de situación crítica inestable entre estas dos posibilidades nos hace sin duda ganadores de una especie de Gran Lotería Cósmica, hecho para el que no poseemos una explicación definitiva. Pero, ¿seguirá siendo nuestro planeta un lugar seguro por mucho tiempo?. ¿Quedarán siempre pequeños reductos de zonas hospitalarias en un universo tan violento y hostil como el nuestro?. La mejor respuesta que puede dar la astrofísica estándar es totalmente pesimista.

3.1. El futuro a corto plazo: impactos de asteroides, explosiones de supernovas y fuentes de rayos gamma

Las enormes distancias entre los cuerpos celestes crea una cierta sensación de seguridad cósmica, pero parece haber evidencias de grandes extinciones en el pasado que ocurren con una periodicidad del orden de unos cien millones de años, y todas las explicaciones apuntan a fenómenos cósmicos catastróficos, al menos en algunas de ellas.

Y por si alguien no estuviera convencido todavía de la realidad de cataclismos cósmicos a escala planetaria, en 1994 observábamos atónitos el choque con Júpiter de varios fragmentos del cometa Shoemaker-Levy 9, el mayor de los cuales puso en juego una potencia del orden de cientos de millones de bombas tipo Hiroshima y afectó a áreas del planeta tan extensas como la misma Tierra. Fuimos testigos de la potencia destructiva del impacto de un meteorito cien veces menor que el que probablemente produjera la extinción K-T hace unos 65 millones de años y que causó la desaparición, entre otras muchas especies, de los populares dinosaurios. Varios centenares de asteroides suficientemente grandes para afectar a regiones de tamaño continental han sido detectados en los últimos años en órbitas relativamente cercanas a la Tierra. El peligro está ahí fuera.

Otros fenómenos locales que pudieran afectar a la vida en la Tierra son las explosiones de supernovas, los encuentros de estrellas de neutrones y las explosiones de rayos gamma conocidas como GRB (Gamma Ray Bursts), que podrían producir dosis letales de radiación si sucede a distancias menores de unos pocos centenares de años luz. La periodicidad de ocurrencia de estos fenómenos se puede estimar en centenares de

Un universo en expansión eterna parece un universo desolador que terminará como una nube de partículas subatómicas que irá perdiendo energía y disminuyendo de densidad eternamente. Un universo con colapso futuro se irá calentando con el tiempo, produciéndose una especie de “retorno al fuego original” del Big Bang donde la materia —en el caso de subsistir antes de su desintegración radiactiva— irá pasando por distintas transiciones de fase donde se irán destruyendo sucesivamente los átomos, núcleos, finalmente acabando en partículas elementales cada vez más exóticas y de mayor energía.

Más terrible aún podría ser la evolución de un universo dominado por la contribución de la energía oscura. La energía oscura parece ser la contribución más importante a la densidad del universo. La posibilidad estándar es considerar que la energía oscura puede ser descrita por la ya famosa constante cosmológica, un término gravitatorio análogo a una fuerza que aumenta con la distancia y que puede ser atractivo o repulsivo. Su origen parece estar relacionado con una densidad de energía residual en el vacío creada por la continua creación de pares virtuales partícula-antipartícula. Si el universo termina por estar dominado por el efecto de una constante cosmológica, éste se expandiría exponencialmente y nuestro grupo local de galaxias quedaría completamente aislado del resto del universo en ¡tan sólo unos ciento ochenta eones! y el cielo se convertirá en un lugar muy aburrido para hacer astronomía extragaláctica.

Pero ésta no es la posibilidad más horrenda —al fin y al cabo ¡a cuántos nos interesa tanto la astronomía extragaláctica!. La energía oscura podría ser el resultado del análogo a una constante cosmológica que varía con el tiempo, conocida como Quintaesencia. En un caso extremo y muy especulativo, la densidad de energía oscura —conocida en este caso particular como energía fantasma— podría aumentar con el tiempo y llevar a una especie de dispersión de todas las estructuras ligadas existentes —incluidos núcleos atómicos— en un tiempo finito y relativamente breve de unas pocas decenas de eones [Caldwell *et. al.* 2003]. Este momento singular del futuro ha sido bautizado como Big Rip (Gran Desgarrón).

Ninguno de los escenarios se parece precisamente al paraíso. Cualquier clase de vida parece condenada a la extinción y todas los sueños, deseos y esperanzas de la civilización humana perdidos para siempre en la inmensidad de un universo vacío y congelado o abrasados en un Gran Gemido final.

4. El futuro de la civilización

Perderías el tiempo intentando dar sentido a lo que solemos referir risiblemente como raza humana. ¿Por qué no te quitas las anteojeras?. ¿No sabes que ya el futuro se ha quedado obsoleto?. Gene Kelly a Spencer Tracy en *Inherit the Wind* de Stanley Kramer.

Las predicciones del futuro realizadas en la sección anterior están basadas en física y astrofísica estándar, en escenarios posibles y cómo mucho en extrapolaciones conservadoras de física bien conocida. Sin embargo, bien podría estar equivocado por dos razones básicas:

1. Por desconocimiento de efectos físicos que no podemos prever con las teorías actuales.
2. Por la exclusión injustificada de los efectos de la vida, y sobre todo de la vida inteligente en el destino futuro del universo.

Obviaremos aquí la primera posibilidad puesto que aunque la nueva física que seguramente provendrá de una teoría cuántica de la gravedad tenga algo fundamental que aportar a nuestra comprensión del tipo de universo en el que vivimos, sólo parece relevante en los momentos próximos a posibles singularidades en el futuro [Starobinski 1999]. Por supuesto, existen factores importantes que podrían influir, como la posible inestabilidad del protón, y que no son conocidos en la actualidad, pero que pueden considerarse en escenarios alternativos que no cambian esencialmente las posibilidades de la vida en el lejano futuro del universo y, en cualquier caso, la nueva física del futuro, podría abrir un sinfín de nuevas posibilidades del tipo agujeros de gusano y máquinas del

tiempo [Hiscock 2002]. Pero el argumento más convincente para dejar aparcada esta posibilidad es que no disponemos de las herramientas necesarias para abordar la cuestión con un mínimo de garantías. Así que dejaremos abiertas todas las posibilidades que nos permite imaginar la física disponible.

Nos ocuparemos por tanto de cómo podría cambiar la segunda posibilidad nuestra conclusión pesimista sobre el destino final de la civilización humana.

4.1 Valores e intenciones

Sabemos que la vida puede cambiar el medio en el que se produce. Sin ir más lejos, la atmósfera de la Tierra es un combinado de gases marginalmente estable que ha sido creada y es mantenida por la biosfera. Imaginemos científicos de otra civilización del pasado remoto tratando de simular la composición química futura de la atmósfera de la Tierra de hace 4,5 eones. Hacer predicciones puramente físicas sin considerar la acción de las formas de vida los llevaría a errar gravemente en sus estimaciones del futuro. Más aún, cuando las formas de vida sean seres inteligentes con capacidad de tecnología —y por tanto de manipulación a gran escala del medio ambiente— la predicción del futuro de dicho medio se hace básicamente inviable debido a un factor de intencionalidad que no podemos tener en cuenta. Sólo podemos conformarnos con especulación informada que no contradiga ningún principio fundamental.

Al igual que hace medio siglo pocos investigadores se tomaban suficientemente en serio el estudio físico de los orígenes del universo, la escatología cósmica —el estudio del futuro a largo plazo del universo— sigue siendo una disciplina que no goza precisamente de mucha popularidad en entornos académicos “serios”. Esto se debe a que nadie pueda obviar la intencionalidad de la vida inteligente como uno de los factores que debería tenerse en cuenta, y la intencionalidad de la inteligencia está estrechamente relacionada con los valores, que no es precisamente un concepto que tenga buena fama en las ciencias naturales. Recordemos la máxima de Jaques Monod en su obra ya clásica *El Azar y la Necesidad*: “*Cualquier confusión entre conocimiento y valores es ilegítima y está injustificada*”. Dicho tabú nació en el seno del enfrentamiento entre ciencia y religión con la aparición de *El Origen de las Especies*.

Pero hoy en día, la investigación está financiada por estados supuestamente laicos, donde la gran mayoría del público —aunque sumido aún en el pensamiento mágico—, parezca sin embargo aceptar la empresa científica como algo necesario. Sirva como dato que una de las últimas encuestas Harris, aunque refleje una pérdida de prestigio social de los científicos, sigue considerando a éstos por encima de profesiones como médicos, profesores, abogados o atletas.

¿Por qué entonces no librarnos de prejuicios del pasado, extrapolar nuestro conocimiento actual y asumir sus consecuencias?

4.2 Escapando del primer Armagedón

Para que una especie termine en la extinción no hace falta que fracase desde el punto de vista de la adaptación al medio, sólo es necesario que el éxito en la supervivencia de sus individuos sea algo menos frecuente. Desde luego, ninguna especie ha logrado, gracias a la tecnología, una capacidad de adaptación al medio como el ser humano, que pudiera aumentar con el tiempo gracias al desarrollo tecnológico.

Todos entendemos que el futuro a corto plazo —decenas a centenares de años— de la humanidad sólo dependa de nuestra capacidad para no autoaniquilarnos por motivos de competición por los recursos o fanatismo racial y/o religioso. Afortunadamente, la complejidad social de finales del siglo XX y principios del siglo XXI parece hacer improbable —en una extrapolación limitada de la historia— el desencadenamiento de una guerra nuclear a gran escala, si bien no parezca improbable que se puedan producir escaramuzas entre estados o terrorismo a media escala que mate a cientos de miles e incluso varios millones de seres humanos. Tampoco podemos predecir la influencia

humana sobre la evolución de la atmósfera, pero nada parece prohibir ser optimista — pues no nos queda más remedio— y confiar en que la humanidad podrá superar los primeros obstáculos que ella misma ha generado. Escenarios más pesimistas serán comentados más adelante en la sección quinta.

Pero la suerte es otro de esos factores no despreciables en la historia natural de las especies. De hecho, algunos genetistas barajan la posibilidad de que todos seamos descendientes de un pequeño grupo de *homo sapiens* al borde mismo de la extinción hace unos 65,000 años.

¿Qué ocurre con sucesos naturales violentos que no dependan de nosotros?. ¿Podrá librarnos la tecnología de catástrofes a escala planetaria?. Después de ver filmes como *Armageddon* y *Deep Impact* uno sale más bien con cierto pesimismo sobre la creatividad humana, pero al menos ahora todo el mundo parece más o menos consciente de la necesidad de un programa de seguimiento de objetos en órbitas que pudiesen acercarse peligrosamente a la Tierra con objeto de predecir un posible impacto con el suficiente tiempo de antelación para tomar medidas, como la de instalar un cohete que desvíe la órbita del intruso. Una explosión nuclear, aunque algo más hollywoodiense, sería una peor opción, pero en último remedio más nos valdría un asteroide fragmentado que uno con todas sus dimensiones. Parece así factible evitar un tipo de armagedón que podría ocurrir con mucha probabilidad dentro de los próximos cien millones de años.

Más difícil de imaginar es lo que podríamos hacer en el caso de un fenómeno tan violento como una supernova cercana, una colisión de estrellas de neutrones o un estallido de rayos gamma. Las dosis de radiación serían letales si uno de estos objetos estuviera dentro de una distancia de unas pocas decenas de años luz y en eventos de extrema violencia incluso dentro de unos pocos miles de años luz.

4.3 Conquistando la galaxia

El aumento de luminosidad solar mencionado en la sección 3.2 empezará a convertirse en un problema grave dentro de aproximadamente un eón. Una posible solución que ha sido sugerida recientemente podría emplear técnicas de ingeniería para migración planetaria como la de asistencia gravitatoria utilizando objetos del cinturón de Kuiper —un conjunto de miles de millones de cometas situados en órbitas más allá de Neptuno y hasta unas 50 unidades astronómicas—

Sin embargo parece probable que en algún momento anterior se intenten colonizar otros sistemas estelares. Asumiendo tecnología ya existente de propulsión de cohetes y la posibilidad de que los colonizadores —ya sean humanos o robots autoreplicantes— tengan la capacidad de reenvío de nuevas colonias a otros sistemas estelares, John Barrow y Frank Tipler han mostrado que se pueden aplicar teorías de colonización de islas con estrategias eficientes para conquistar la galaxia entera en periodos de tiempo del orden de unos pocos millones de años. Esto permitiría la subsistencia segura de nuestros descendientes por al menos otros diez eones, al evitar que los cataclismos locales acaben con toda la civilización humana. La estrategia podría ser generalizada a la colonización de una parte cada vez más importante del universo observable. Por lo que en última instancia es la cosmología —ciencia que estudia el origen, evolución y destino del universo— la que podría tener la última palabra sobre las posibilidades de la civilización a muy largo plazo.

4.4. Civilización y eternidad

En 1979, Freeman Dyson convirtió en ciencia las especulaciones sobre el futuro de la vida a muy largo plazo en un artículo admitido por una revista académica de prestigio. El trabajo pionero de Dyson establecía las definiciones básicas que permitían especular con cierta formalidad sobre los límites de la civilización en el futuro arbitrariamente distante. La idea de Dyson consistía en pensar en la vida como en un sistema material que procesa información con una determinada tasa metabólica que depende de su temperatura corporal y cuyo tiempo subjetivo está delimitado por la

cantidad de operaciones —"pensamientos"— que pueden ser realizadas en un determinado tiempo físico.

En un universo en expansión eterna, la crisis energética es un handicap continuo al que se enfrenta cualquier civilización. El problema básico no es tanto la disponibilidad de energía como el hecho de que a medida que el universo se expande resulte cada vez más costoso extraerla. La única manera de evitar este handicap parece sencilla: ¡hacer más con menos!. Bajo esta premisa Dyson encuentra una vía de escape mediante la reducción de la tasa metabólica en periodos de hibernación cada vez más numerosos y largos. Puesto que el tiempo de expansión es eterno, por muy lentos que sean los procesos metabólicos, el número de ellos pudiera divergir. El tiempo subjetivo de la vida podría así ser eterno. ¡La vida podría existir para siempre y tener un número de pensamientos infinito!.

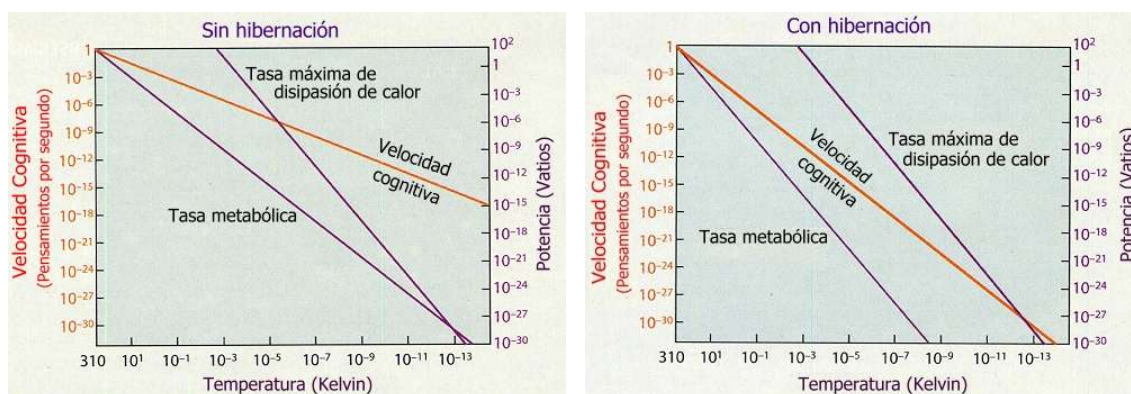
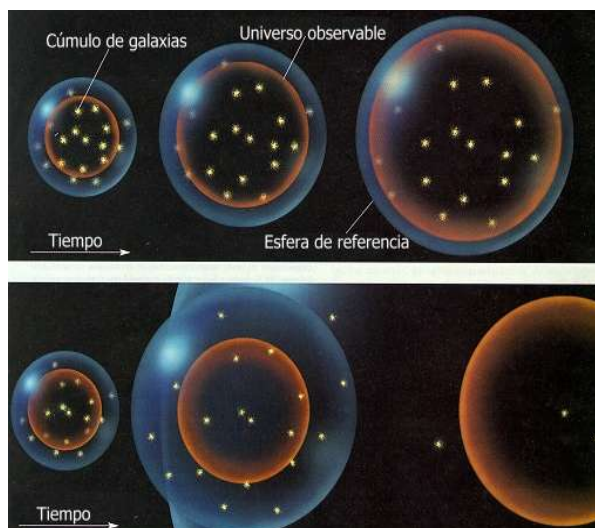


Figura 3. A medida que desciende la temperatura, disminuye la energía consumida (tasa metabólica) a costa de ralentizar el procesamiento de información (velocidad cognitiva). Si la tasa metabólica cayera más rápidamente que la velocidad cognitiva, el número de pensamiento podría incrementarse sin límites. Pero siempre está presente el problema de la disipación de calor, que podría ser solucionado con periodos de hibernación que redujeran la tasa metabólica promedio. Imagen adaptada de Krauss & Starkman 2000.

Lawrence Krauss y Glenn Starkman rehicieron los cálculos de Dyson y han encontrado dos dificultades básicas. Primero está la imposibilidad de construir despertadores para los periodos de hibernación. Los despertadores tendrían que operar con precisión para tiempos cada vez mayores, a la vez que consumir menos y menos energía, ambas cosas en principio limitadas por el principio de incertidumbre de Heisenberg. Segundo, los organismos podrían coleccionar sólo una cantidad finita de materia y energía, por lo que sólo es posible una capacidad de memoria finita y el procesamiento de una cantidad finita de información.

Pero la visión más pesimista de todas la obtuvieron Krauss y Starkman cuando investigaron lo que sucedería en un universo en expansión acelerada dominado por una constante cosmológica, tal y como parece ser el caso según indican las observaciones disponibles hasta la fecha. El valor medido de la constante cosmológica introduce una especie de efecto gravitatorio repulsivo que obliga al universo, a partir de determinado momento, a acelerar su expansión. Un universo con constante cosmológica posee un límite inferior de temperatura que puede ser alcanzada, impuesto por un baño de radiación térmica conocida como radiación de Gibbons-Hawking —análoga a la radiación térmica emitida por un agujero negro—. La vida en tal escenario estaría condenada a la extinción al carecer en algún momento de un foco frío que le permita realizar trabajo útil. El universo terminaría entonces como un baño térmico de radiación a temperatura —más bien fresquita— de unos 10^{29} kelvin y algunas partículas subatómicas en eterna dilución, donde por supuesto nadie estaría allí para verlo. Como nota ligeramente optimista, decir que las escalas de tiempo hasta agotar toda posibilidad de realizar trabajo útil son del orden de 10^{50} - 10^{100} años, lo que representa en los patrones humanos habituales una auténtica eternidad.

Figura 4. Dos modelos de universo en expansión. Arriba un modelo clásico de expansión desacelerada. La escala del universo (esfera de referencia) aumenta de tamaño aproximadamente una vez y media cuando el tiempo transcurrido se duplica. El universo observable aumenta proporcionalmente al tiempo y por tanto más rápido, con lo que cada vez podemos ver mayor parte del universo. En cambio, en un universo en expansión acelerada (abajo), la escala aumenta de manera exponencial mientras el universo observable aumenta de la misma manera que en el caso anterior. La cantidad de objetos que podemos ver disminuye con el tiempo y el observador termina por quedar aislado del resto del universo. Adaptada de Krauss & Starkman 2000



Katherine Freese y Willian Kiney han mostrado sin embargo cómo se podría superar esta última dificultad si la aceleración del universo fuese producida no por una constante cosmológica, sino por otros tipos de energía oscura como quintaesencia –análoga a una constante cosmológica que puede variar con el tiempo–. Además, parecen encontrar un punto débil en los argumentos de Krauss y Starkman que permitiría la construcción de despertadores para los periodos de hibernación y la continuación indefinida del procesamiento de información. Freese y Kiney sin embargo no encuentran ninguna escapatoria al problema de la disponibilidad de memoria adicional. Esto obligaría a estos seres bien a morir como individuos –borrando sus memorias y olvidando sus orígenes– o bien, como mucho, a repetir de forma cíclica los pensamientos y terminar en una especie de eterno retorno Nietzscheano, un escenario que no parece demasiado deseable si no se aspira a terminar como los trogloditas del magnífico cuento de Borges *El Inmortal*, incluido en su obra *El Aleph*.

4.5 Mensaje en una botella cósmica

En situaciones desesperadas uno tiene que buscar la salida de emergencias. Pero, ¿queda algún lugar donde ir cuando se haya consumido el universo entero?. ¿Existe más de lo que vemos?. Varios frentes apuntan a que la respuesta es afirmativa. Al menos podemos estar relativamente seguros de que existen otros universos, si entendemos por ello regiones que están más allá de nuestro universo observable.

El universo observable no es más que el conjunto de todos los objetos desde los que nos ha podido llegar la luz. Como la luz ha estado viajando un tiempo finito, sólo podemos observar una región finita del universo aún cuando éste fuese infinito. El universo observable es inmenso comparado con las dimensiones a las que estamos acostumbrados incluso en astronomía. Una estimación de su tamaño nos lleva a escalas de varias decenas de miles de millones de años luz.

En un universo cuya expansión estuviese frenando con el tiempo, nuestro universo observable se haría cada vez mayor y nada impediría ir acaparando nuevas regiones del universo. Eso es lo que hacía tan apetecible para Dyson esta variedad de universos. Pero en un universo que acelera su expansión —tal y como parece ser el que habitamos— existe un horizonte de eventos que limita nuestra comunicación con el resto del universo, y lo que es peor, los objetos lejanos van atravesando este horizonte de manera que iremos perdiendo comunicación con la mayor parte del universo a medida que transcurra el tiempo (ver fig. 4).

¿Qué hay más allá de ese horizonte?. La respuesta está en función del modelo que utilicemos para explicar el origen del universo. Uno de los más prometedores, conocido como inflación caótica [Linde 1994], nos sugiere la existencia de un universo base

probablemente infinito formado por subuniversos también infinitos — conocidos como universos bebé— tremendamente irregulares donde existen burbujas homogéneas en expansión que pueden tener tamaños típicos del orden de $10^{100000000000}$ (¡uno seguido de un billón de ceros!). Como antes, ponga el lector las unidades que desee a este número colosal.

Andrei Linde —el inventor del modelo de inflación caótica— también ha propuesto una estrategia de migración a través de las diferentes regiones de este fantástico multiverso [Linde 1988]. Linde estudia la manera de enviar un mensaje codificado en las

constantes de la física a un nuevo universo creado a partir del progenitor. Para ello, en el lejano futuro deberemos ser capaces de crear artificialmente universos bebé. Para aquel que lo dude, la receta lleva tiempo en los libros de cocina de la física. Alan Guth —inventor oficial de la idea de inflación— nos la proporciona: *Cójanse unos 10 kg de partículas de unos 15 GeV de energía. Comprímense hasta crear un agujero negro. Déjese reposar hasta que se desintegre vía radiación de Hawking. Desconectado causalmente de nuestro universo aparecerá un “universo bebé” —que Guth prefiere llamar universo de bolsillo—. Si la receta falla o tiene dificultades para conseguir los ingredientes, consúltese a un buen chief dentro de 10 eones, unos más unos menos.*

Jaume Garriga —de la universidad autónoma de Barcelona— y colaboradores han analizado recientemente si realmente es factible enviar mensajes a universos creados artificialmente. Y aunque parecen surgir todo tipo de escollos —incluida la dificultad de imaginar un contenedor material para un mensaje que supere con éxito algo parecido a un periodo de expansión exponencial y un Big Bang —tal y como probablemente se produjo al principio de nuestro universo—, la buena noticia es que en principio nadie encuentra un argumento de imposibilidad

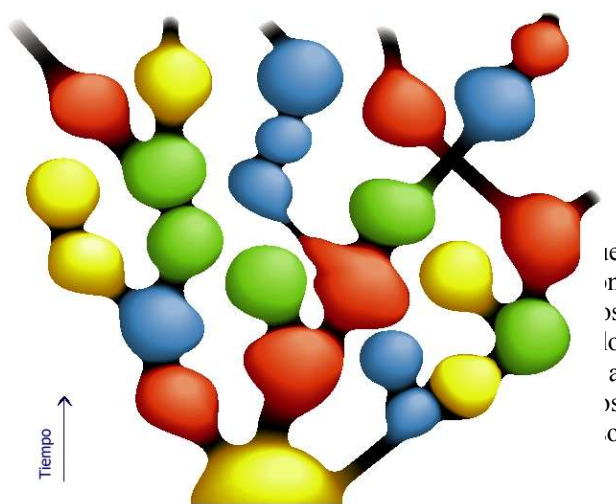
El mensaje en la botella cósmica podría ser la última esperanza de una civilización condenada a la extinción en el escenario más pesimista de Krauss y Starkman de un universo dominado por la constante cosmológica. Puesto que la cantidad de información que se puede enviar en un mensaje de este tipo parece limitada por las leyes de la física, y la probabilidad de éxito es ciertamente baja, la estrategia obvia parece ser la de enviar un número suficientemente elevado de mensajes a diferentes universos bebé con la información para construir algún tipo de auto-replicador en grandes cantidades, de tal forma que confiáramos en su éxito de implementación en una especie de panspermia generalizada. Al mismo tiempo, las buenas nuevas para nuestros herederos podrían quedar explícitas en algún lugar seguro. De hecho, después de señalar lo anterior, resulta provocador que —como menciona Lee Smolin— en muchas especies se encuentren fragmentos de ADN que no parezcan jugar ningún papel biológico obvio [Smolin 1997].

Aún en el caso más especulativo de un Big Rip en el final de los tiempos, una fuga a través de agujeros de gusano de “boca ensanchada” a otros universos justo en el último momento podría ser incluso una digna escapada.

De esa manera —y como nota optimista— nuestros descendientes del futuro y sus proyectos podrían continuar propagándose indefinidamente por nuevos universos, con lo que la cantidad de recursos disponibles bien podría ser perfectamente ilimitada.

4.6 Re-inventándonos a nosotros mismos

El planteamiento de apartado anterior nos lleva a una variante de la famosa pregunta de Fermi: “si existen otras civilizaciones avanzadas, ¿por qué no están ya aquí?”. Si el



proceso anterior se ha desarrollado en un número enorme —¿infinito?— de otros universos, ¿por qué no somos nosotros herederos del mensaje en la botella cósmica?— obviando la posibilidad altamente especulativa del ADN superfluo—. Existe una respuesta afirmativa algo extravagante delineada por Edward Harrison: selección artificial de universos.

Pero vayamos por partes. Lee Smolin ha propuesto un escenario especulativo en el que cada universo existente es el residuo de la “explosión” de un agujero negro previamente formado en otro universo progenitor [Smolin 1997]. Cada universo nace con un conjunto de ciertos parámetros físicos —sus “genes”—. A medida que este universo se expande se crearían nuevos universos con parámetros físicos similares, pero que —como propusiera John Wheeler— habrían variado ligeramente debido a fluctuaciones producidas por la alta entropía del interior del agujero negro —el análogo de una mutación—. El proceso se repite reiteradamente, generándose una progenie de universos que tenderán hacia una población dominada por aquellos que maximicen el número de agujeros negros que puedan producir.

En un escenario de estas características, Harrison propone que una civilización con tecnología de manipulación de universo *à la* Guth podría crear universos con ciertas características determinadas —a imagen y semejanza del que habitan—, aunque quizás con ligeras variaciones aleatorias de las constantes de la física imposibles de controlar. En otras palabras, un proyecto de ingeniería cósmica que crearía un universo capaz de producir vida. Cada universo tendría su propio Hacedor de Mundos, una versión más bien materialista de Dios. Pero si tal fuese el caso, cómo responder a la pregunta sobre los orígenes del universo progenitor que no fue a su vez creado por uno de esos Hacedores de Mundos. La respuesta —en este escenario— podría ser tan tremendamente familiar como que antes de la selección artificial existió la selección natural *à la* Smolin. De este modo los partidarios de la mal llamada teoría del Diseño Inteligente tendrían razón, ¡aunque con los argumentos equivocados!. Irónicamente, el Gran Diseñador no sería más que el resultado de la peligrosa idea de Darwin —parafraseando el título del libro del filósofo Daniel Dennet— llevada a la mayor escala posible.

4.7. Sacándole provecho al fuego eterno

¿Y si el universo no se expandiera para siempre y volviera a colapsar en el futuro?. La predicción del comportamiento futuro del universo no es un asunto tan obvio como nos han enseñado la mayoría de libros de divulgación de cosmología. La posibilidad de que el universo pueda finalmente empezar a contraerse y terminar en un Gran Crujido (Big Crunch) podría depender de otros factores diferentes de la densidad de materia y energía. Así por ejemplo, aunque un universo con constante cosmológica —tal y como parecen sugerir las observaciones actuales que podría ser el nuestro— es en principio un universo que se expandirá indefinidamente, podría ocurrir que esa constante cosmológica aparente fuese en realidad generada por un campo escalar dinámico cuya densidad de energía disminuiría con el tiempo hasta desaparecer y revelar una verdadera constante cosmológica de signo contrario que provoque la detención de la expansión y el futuro colapso [Krauss & Turner 1999].

Si ese fuera nuestro último destino, John Barrow y Frank Tipler han propuesto la manera de manipular la forma de un colapso final asimétrico de un universo cerrado [Barrow & Tipler 1986, Tipler 1994]. El objetivo último de llevar a cabo dicha manipulación sería el de obtener una fuente inagotable de energía para la vida que podría darle una capacidad de cómputo y una memoria que podría crecer sin límites antes del colapso final del universo. Así, la velocidad de procesamiento de información podría crecer ilimitadamente de manera que en un tiempo muy breve se podría procesar o “pensar” lo que sólo parecería posible en toda la eternidad.

4.8 Emulando el universo: la resurrección de los muertos

En un polémico libro titulado *La Física de la Inmortalidad: Cosmología moderna, Dios y la resurrección de los muertos*, el propio Frank Tipler ha llevado extremadamente lejos esta última idea. Utilizando el hecho —mencionado en la sección previa— de que las capacidades de cómputo y memoria podrían, en ciertas condiciones, aumentar indefinidamente, Tipler especula con la posibilidad de que la red de seres inteligentes que pueblen un universo cerrado en los momentos inmediatamente anteriores al colapso en la singularidad final podrían simular de manera ilimitadamente precisa —lo que Tipler denomina emulación— todos los universos y seres humanos posibles y de esa manera resucitarnos a todos como emulaciones en un entorno virtual familiar pero mejorado; en otras palabras ¡el Cielo!. ¡Así como suena!

La pregunta que el lector se estará haciendo en este momento es si esto es ciencia o una broma. La respuesta es que se trata de especulación informada muy contaminada por deseos. Frank Tipler creó este escenario —que denominó Teoría del Punto Omega— junto a John Barrow en otro polémico libro titulado *The Anthropic Cosmological Principle* —El Principio Antrópico Cosmológico— y posteriormente publicó cuatro artículos más en sendas revistas especializadas. Desgraciadamente para la credibilidad de Tipler, revistió a un escenario matemáticamente bien elaborado y coherente de teología cristiana al más puro estilo de otros teólogos como Pierre Teilhard de Chardin, del que tomó prestado el concepto de Punto Omega. Así las recensiones de su libro no fueron precisamente condescendientes con Tipler. El cosmólogo y cuáquero sudafricano George Ellis lo calificó de “obra maestra de pseudociencia” en su recensión de *Nature*. Aunque Ellis tiene sus razones técnicas, en el resto de la crítica se le ve el plumero —Ellis curiosamente ha dicho: “Existe una cantidad inmensa de datos que apoyan la existencia de Dios. La cuestión es cómo evaluarlo”—, dejándose al igual que Tipler, arrastrar por los deseos más que por los buenos argumentos.

El físico británico David Deutch, en su libro *La Fábrica de Realidad* describe el escenario de Tipler desnudo de cualquier interpretación teológica. La conclusión de Deutch es que, aunque uno no pueda por supuesto hablar con certeza de lo que sucederá dentro de decenas o centenares de miles de millones de años, actualmente no podemos descartar la posibilidad de nuestros descendientes de producir entornos de realidad virtual excepcionalmente precisos al estilo del filme *Matrix*. Deutch argumenta en este último punto de manera bastante más sobria y directa que Tipler.

Lo que sí está claro es que el escenario básico de Tipler es atractivo y al menos es falsable: predice que habitamos un universo cerrado que terminará en un Big Crunch (Gran Crujido). De momento las observaciones disponibles y ciertos supuestos de simplicidad parecen indicar que eso no será así. Pero ya hemos señalado que la predicción de la evolución futura del universo es incierta, al menos con la física que conocemos en la actualidad.

4.9 Matrix Reloaded

Que nuestros descendientes del futuro lejano sean capaces de realizar simulaciones virtuales tremendamente precisas nos lleva de nuevo a otra variante de la pregunta de Fermi. ¿Por qué no estamos viviendo ya en una simulación?. Esta pregunta aparentemente tan inocente nos introduce en sendas argumentativas inesperadas. Nick Bostrom ha mostrado que la hipótesis de no estar viviendo en una simulación es en realidad la menos obvia de ambas alternativas, bajo el supuesto que sea posible realizar dichas simulaciones virtuales en algún momento del futuro.

La cuestión que surge entonces es cómo probar que estemos viviendo en un universo simulado. Desde luego que en una emulación *à la* Tipler la pregunta carecería de sentido porque una emulación es por definición indistinguible de la realidad para los seres simulados. Incluso podemos descartar la emulación *à la* Tipler desde el momento que observamos que este mundo no es precisamente el mejor de los imaginables —salvo que quisiésemos meternos en el dudoso terreno de la ética de inteligencias futuras—. Una posible línea argumentativa más directa podría ser que quizás el mejor de los mundos imaginables sería aquel en el que uno pudiera vivir todas las vidas posibles. Desde que

las mejores teorías de las que disponemos parecen sugerir la existencia de universos paralelos (ver más abajo) con copias del lector viviendo todas las posibilidades que no contradigan principios fundamentales, voila, ¡quizás no estemos más que descubriendo que ya estaríamos de hecho en la emulación tipleriana!

Pero las civilizaciones con recurso más limitado que las del escenario de Tipler tendrán que ahorrar en cómputos y disminuir la “resolución” de las simulaciones virtuales a valores aceptables que mantengan la fidelidad de la ilusión —tal y como de hecho hacen las simulaciones actuales—. Tendremos así que convertirnos en personajes del filme *Planta 13* y buscar defectos de simulación. Desde luego, si los proveedores del software del futuro son herederos del estilo Microsoft, el lugar donde buscar está claro: patches. Bromas aparte, John Barrow precisamente ha señalado que en un universo simulado uno esperaría violaciones ocasionales o reajustes en las leyes físicas de la simulación, con lo que desenmascarar la simulación no requiere más que en definitiva seguir haciendo ciencia.

Si después de leer este último párrafo el lector queda realmente preocupado por sus estatus ontológico, no hay por qué alarmarse. Ya están disponibles algunos consejos para evitar en cierta medida que Matrix decida apearnos de la simulación: preocuparse menos por los demás, vivir al día, intentar que haya más riqueza en el futuro, intentar participar más en eventos trascendentes de la historia, ser más entretenido e interesante y mantener a la gente famosa lo más cerca de uno posible, tratar de hacerlos felices y que se interesen en uno.

4.10. Universos paralelos

¿Y si existieran copias del lector leyendo este artículo?. ¿Copias idénticas a usted en un planeta idéntico a la Tierra con el mismo poder de decisión para seguir leyendo el artículo o dejarlo a un lado e irse a hacer algo más fructífero?. Aunque parezca una locura, esa copia debería encontrarse no mucho más allá —en una estimación algo conservadora— de unos $10^{10^{29}}$ metros —¡un uno seguido de cien mil millones de trillones de ceros!—, si aceptamos el modelo más popular de universo que sugieren las observaciones disponibles. Más aún, en otra estimación conservadora, a unos $10^{10^{115}}$ metros debería haber un universo observable —una esfera de unos 90 mil millones de años luz de diámetro— indistinguible del nuestro [Tegmark 2003].

Típicamente, el futuro de nuestra copia debería empezar a divergir del nuestro a partir de este momento. Peor aún, debería haber una cantidad infinita de copias, con lo que en un universo infinito típico, todas las posibilidades que no contradigan las leyes de la naturaleza serán realizadas. Y aunque un impacto de meteorito destruyera mañana nuestra civilización, infinitas copias idénticas de esta civilización continuarían existiendo y, si ninguna ley física lo impide, un número infinito de copias de todos nosotros con nuestros mismos pasados continuará viviendo para siempre.

El lector podría argüir que ninguna de esas copias sería en realidad ella o él. El problema de la identidad puede ser un problema filosófico de primera magnitud, pero la realidad es que la impresión subjetiva del yo inmutable es probablemente sólo eso: una recreación de nuestro cerebro. En realidad los seres humanos cambiamos con el tiempo no sólo nuestro aspecto físico, sino nuestras ideas, nuestra forma de ser y nuestras prioridades. La ilusión de continuidad probablemente es una recreación de nuestras mentes basada en la memoria a largo plazo que se reconstruye día a día alimentada por la familiaridad del entorno y las historias compartidas con las personas con las que nos relacionamos diariamente.

Así, cuando muramos, todavía existirán infinitos individuos cuyo universo se creó en un big bang idéntico al nuestro, que vivirán en un planeta idéntico al nuestro donde surgió una especie denominada homo sapiens, copia exacta de la que habita en nuestro planeta y que ha seguido acontecimientos históricos idénticos a los de nuestra historia, naciendo de manera idéntica y viviendo una vida en todo momento idéntica a la nuestra que sólo en determinado momento empezó a divergir, por ejemplo, sobreviviendo al

incidente que causó la muerte a una de nuestras copias —¡en realidad infinitas!—. Un escenario tal sería básicamente indistinguible del escenario de Tipler de una emulación del universo con todos los seres humanos posibles viviendo todas las vidas posibles.

Resulta curioso señalar que la existencia de universos paralelos podría manifestarse observacionalmente. Una posibilidad es lo que a veces se denomina ajuste delicado de las constantes de la física y parámetros cosmológicos. Pongamos una analogía mundana para entendernos. En una tienda de antigüedades compra usted un jarrón de porcelana del que le han dicho que sólo existe una copia. De repente descubre en su interior la existencia del número 1968 marcado en su superficie. El número coincide con el año de su nacimiento. Tal coincidencia requeriría una explicación inverosímil, a no ser que usted suponga que en realidad es una serie de varios miles de jarrones de imitación que llevan numeración de serie y que a su ciudad llegó el lote 1900-1999. La inferencia de la existencia de muchos más jarrones con número de serie hace que la coincidencia, aunque curiosa, deje de ser tan extremadamente improbable.

En el universo que habitamos parece existir una coincidencia igual de misteriosa en algunos parámetros como la constante cosmológica, cuyo valor está tan exquisitamente ajustado que permite la existencia de las condiciones necesarias para la vida —a través de posibilitar la existencia de galaxias—. Una explicación natural de este ajuste misterioso podría ser la existencia de un número inmenso de universos donde este parámetro tome diferentes valores de forma aleatoria. De manera análoga al caso del número en el jarrón, deja de ser tan misterioso entonces que la constante cosmológica que observamos pueda tener el valor que tiene y de hecho deba tenerlo para poder permitir la existencia de observadores como nosotros.

Esta última idea —el hecho de que algunos parámetros como la constante cosmológica tenga un valor que está relacionada con el hecho de que nosotros podamos estar aquí— se ha conocido para su infortunio como Principio Antrópico [Hernández P.J. 2000]. En realidad, la constante cosmológica es uno de los parámetros que determina la posibilidad de existencia de las galaxias. En el caso de que su valor hubiera sido algo distinto, no hubiera galaxias hoy en día, tampoco habría planetas y el homo sapiens no podría haber evolucionado en uno de ellos. Si sólo existiera un universo, esa coincidencia sería tremendamente misteriosa y nos podría hacer caer en alguna forma de argumento del diseño o teísmo. Pero la existencia de universos paralelos nos proporciona una explicación natural del ajuste preciso de los parámetros cosmológicos. Por supuesto, podrían existir otras explicaciones, pero en los modelos más competentes de universo como el inflacionario, la existencia de un gran número de universos paralelos —de hecho un número infinito— es una consecuencia natural de los mismo, por lo que podemos cerrar perfectamente el círculo explicativo [ver sin embargo Davies 2003 para una buena crítica a esta manera de proceder].

5. El Día del Juicio Final

Millones de personas añoran la inmortalidad cuando no saben lo que hacer con ellos mismos en una tarde lluviosa de Domingo. Susan Ertz.

Después de tanto optimismo desmesurado quizás convendría enfriar la cabeza con un poco de pesimismo consolador. El Argumento del Día del Juicio Final nació simultáneamente al Principio Antrópico moderno de la mano del astrofísico Brandon Carter, pero fue traído al estrellato en un artículo de Richard Gott III publicado en Nature en 1993 donde básicamente concluía que si nos encontramos razonando en un momento aleatorio de la vida de un fenómeno pasajero, la duración futura de éste estará comprendida entre una fracción de $1/39$ y 39 veces su edad presente con un 95% de confianza. Eso significa, que si otorgamos al Homo Sapiens una edad de unos 200,000 años y razonamos como si viviéramos en un momento aleatorio del tiempo que dure la humanidad, podemos asegurar con un 95% de confianza que la especie humana no se extinguirá hasta al menos dentro de unos cinco mil años y que se extinguirá, con toda probabilidad, antes de unos ocho millones de años, número este último que sorprendió en

buena medida a Gott por su similitud en orden de magnitud con la duración de otras especies ya extintas.

Está de más decir que el artículo de Gott provocó una lluvia de réplicas y contrarréplicas que se prolonga hasta la actualidad [ver Anthropic-Principle.com]. Pero el argumento de Gott —una versión temporal del principio de mediocridad o Principio Copernicano— no es más que una versión débil de un argumento mucho más general y aparentemente más poderoso.

La idea básica es la siguiente: supongamos que participamos en un extraño sorteo donde tengamos que escoger una papeleta numerada de una de dos urnas indistinguibles. Sabemos que una de las urnas contiene un millón de papeletas numeradas consecutivamente de uno a un millón y la otra urna sólo diez papeletas numeradas de uno a diez. Extraemos una papeleta de una urna cualquiera y nos sale una con el número siete. ¿De qué urna hemos sacado la papeleta?. Un cálculo directo usando el teorema de Bayes nos lleva a que he elegido seguramente —99,999 % de probabilidad— la urna que contenía diez papeletas.

Ahora cambiemos en el ejemplo anterior las urnas por dos civilizaciones humanas. Una con un número total de seres humanos nacidos de cien mil millones y otra con digamos algunos trillones de seres humanos. Ahora resulta que el lector ocupa, en orden de nacimiento desde el principio de la raza humana, un número correspondiente a, digamos, sesenta mil millones —que es una estimación del número de seres humanos que ha nacido hasta la fecha—. ¿A cuál de las dos civilizaciones pertenecerá el lector?. Si uno supone ser un miembro aleatorio de una clase de objetos que denominamos seres humanos, por el mismo razonamiento de la urna, es mucho más probable que pertenezca a una civilización cuyo número total de seres humanos no exceda en ningún momento en muchos órdenes de magnitud el número de seres humanos que han existido hasta el momento. Este argumento parece marcar un límite no demasiado lejano a una posible extinción total del ser humano, de ahí que sea conocido como argumento del Día del Juicio Final.

Algunos han interpretado este resultado como un aumento de la probabilidad de algún tipo de calamidad planetaria de los tipos mencionados anteriormente. Y no es necesario decir que se han puesto infinidad de objeciones a este argumento. Muchas objeciones tratan de demostrar la invalidez del resultado interpretando de forma confusa el problema planteado. Una de las posibles pegas que sí parece tener mucho sentido ataca la idea de clase de objetos. ¿Si los seres humanos evolucionan hasta digamos cambiar de formato material y simular la consciencia como un procesador de información en una red de tamaño planetario, seguirán siendo “de clase” humanos?. Hay una posibilidad de salir del atolladero y definir una clase de objetos que se denominan momentos-del-observador.

Una aplicación práctica de este concepto sería la siguiente: ¿Por qué en un atasco, el carril de al lado es aparentemente más rápido?. Una explicación directa sería la de un efecto de selección sobre los momentos-del-observador. Si asumimos que los carriles más lentos son los de mayor densidad de vehículos, uno pasará la mayor parte del tiempo en carriles lentos y por tanto tendrá la impresión certera de que los otros carriles son casi siempre más rápidos. Si identificamos un momento-del-observador con un pensamiento —en el sentido de procesamiento de información— el número de éstos podría divergir a infinito en el futuro, y el argumento del juicio final dejaría de tener un sentido claro.

5.1 La bestia desatada

Si una guerra nuclear, un impacto de meteorito o una explosión de una supernova cercana le parecieron al lector formas terribles de extinción, no se vaya todavía, aún podemos darle ideas para sus peores pesadillas.

La nanotecnología es la manipulación de la materia átomo a átomo. La construcción de nano-robots autoreplicantes en un futuro no muy lejano es una extrapolación no muy descabellada de la tecnología presente. La naturaleza inventó esta tecnología hace mucho tiempo con maquinaria celular como enzimas y ribosomas, por lo que sabemos que de hecho es posible. No es difícil recrear escenarios del futuro no muy lejano donde una

carrera de armamentos de estas nanomáquinas haría parecer a la guerra fría un amago de pelea de barrio [Drexler 1985].

Por supuesto que la nanotecnología podría tener aplicaciones positivas inesperadas en la posible replicación de la estructura cerebral en hardware inorgánico y la consiguiente posibilidad de transhumanización comentada anteriormente. Incluso para aquellos optimistas que han optado por la crionización de sus cuerpos o cabezas, la nanotecnología podría ser la manera de replicar sus estructuras y traerlos de nuevo a la vida.

Quizás sea la nanotecnología la única tecnología del futuro que podemos prever podría encerrar riegos autodestructivos evidentes. Un caso particular podría ser la propia biotecnología como creadora de virus o bacterias —al fin y al cabo nanomáquinas autoreplicantes— con un 100% de mortalidad. Y aunque no está tan claro cómo una enfermedad con altos porcentajes de mortalidad pudiera acabar con una parte considerable de la humanidad —aún en un mundo tan intercomunicado como el nuestro— sí que tenemos ejemplo recientes de cómo una epidemia incluso limitada podría tener efectos económicos desastrosos para una sociedad avanzada.

Otros escenarios de autodestrucción mucho más especulativos que se han planteado implican la creación en los aceleradores de partículas de agujeros negros o estados metaestables del vacío que destruirían no sólo la vida en este planeta, sino nuestra región del universo, o incluso en las visiones más catastrofista la totalidad de nuestro universo observable.

Desde la detonación de la primera bomba H —que hizo pensar a algunos en la posible deflagración de toda la atmósfera de la Tierra— el miedo a que la manipulación de los núcleos atómicos pueda desencadenar efectos destructivos inesperados surge casi con cada salto en escalas energéticas disponibles en los aceleradores de partículas. Aunque nadie desde luego pueda descartar el hecho de que un experimento en un acelerador de partículas —en unas condiciones muy concretas que no se den en la naturaleza— pueda desenmascarar efectos físicos desconocidos —¡de eso se trata precisamente!—, no deberíamos perder de vista el hecho de que la naturaleza pone en juego energías —rayos cósmicos, supernovas, etc— que siguen estando muy lejos de nuestra capacidad tecnológica en un futuro de al menos unas cuantas décadas.

9. Conclusiones

Es difícil hacer predicciones... Sobre todo si se trata del futuro.

Dicho danés habitualmente utilizado por Bohr

El nacimiento del pensamiento científico cambió al hombre para siempre proporcionándole una manera de indagar en la naturaleza y obtener respuestas a las que se puede dotar de un grado de certeza intersubjetivo. Se creó así a un juez imparcial que define los que podemos entender por real y diferenciarlo de lo que no está “ahí fuera”. Utilizando ese método nos hemos ido dejando por el camino mitos, leyendas, creencias e incluso dioses y los hemos sustituido por un universo tan inmenso, tan violento y tan ajeno a los deseos y motivaciones humanas que quizás hayamos perdido la esperanza: la esperanza de un futuro lejano donde la humanidad vea realizados todas sus utopías.

Espero haber convencido al lector que nuestra única esperanza es en realidad la puramente materialista. La consciencia no es más que un procesamiento algorítmico de información en un sistema físico que es el cerebro. Dicho proceso podría ser en principio transferido a —o simulado en— un sistema físico diferente. Esos procesos podrían interconectarse y hacerse más eficientes. Durante dicha transformación, dejaríamos seguro de ser homo sapiens y podríamos dejar incluso de ser humanos. No sabemos lo que esas superinteligencias artificiales del futuro muy lejano podrían hacer o desear, pero desde luego cabe la posibilidad de que al menos a algunas se les ocurra simular nuestras pequeñas consciencias en entornos virtuales y traernos de nuevo a la existencia. Desde luego, nada que conozcamos impide que estas inteligencias pudiesen tener un tiempo subjetivo infinito para pensárselo. Y en un tiempo infinito, todo aquello que pueda

ocurrir ocurrirá de hecho. Quizás ya estemos realmente en una simulación virtual, viviendo todas las vidas posibles en una infinidad de universos paralelos; o quizás incluso seamos uno de los múltiples niveles de seres simulados que en algún momento del futuro crearán a su vez nuevas simulaciones. Una vez que hemos descubierto que el Cielo no existe, ¿por qué no intentar reinventarlo y mejorarlo utilizando la ciencia y la tecnología del futuro?

¿Qué diferencia existe entre este escenario y el misticismo gratuito?. El periodista científico John Horgan ha denominado a este tipo de especulaciones con el calificativo de ciencia irónica, por su desconexión con la observación y la experimentación en un futuro previsible. Toda extrapolación, aunque sea realizada desde principios bien establecidos, es sin duda una operación peligrosa, pero pienso que sería imperdonable no tomar en serio nuestras mejores teorías sobre el mundo y llevarlas hasta el límite de lo imaginable para ver lo que nos tienen que decir sobre lo que somos y lo que podemos ser.

No debemos olvidar sin embargo que la historia nos ha dado una dura lección sobre las predicciones del futuro, aún las informadas. Pero tampoco deberíamos olvidar que el futuro suele ser más imprevisible de lo que uno es capaz de imaginar. Quizás, después de todo, la imagen científica clásica que nos daba un billete sin retorno hacia la extinción eterna sea extremadamente probable y en cambio los nuevos escenarios a los que apunta la “ciencia irónica” sean ilusos. Pero esa pequeña participación en la Gran Lotería Cósmica es precisamente lo que yo llamo esperanza. Si dentro de la propia ciencia hay lugar no sólo para una ética práctica sino incluso para la esperanza, ¿podremos los hombres de ciencia de una vez por todas librarnos del yugo de los prejuicios y la corrección política con esa creencia falsa y vacía de contenido que llamamos religión?.

10. Apéndices

I. Capacidad computacional del cerebro

La capacidad computacional del cerebro puede ser estimada a partir de las siguientes cantidades

Número de neuronas $\sim 10^{11}$

Número de sinapsis por neurona ~ 5000

Frecuencia de disparo neuronal ~ 100 Hz

Bits de información por disparo \sim unos pocos

Multiplicando estos números obtenemos $\sim 10^{17}$ ips. Por supuesto ésta es una estimación cruda sin tener en cuenta las complicaciones y que implica a todas las neuronas funcionando al mismo tiempo. Estimaciones más sofisticadas llevan a cantidades más modestas $\sim 10^{14}$ ips

(http://www.aeiveos.com/~bradbury/MatrioshkaBrains/MatrioshkaBrains.html#Table2_HumanThoughtCapacity).

Un límite físico superior incuestionable puede determinarse suponiendo que el calor generado por el cuerpo (~ 100 Vatios) proviene totalmente del procesamiento de información, lo que implica un límite superior de unas $\sim 10^{23}$ ips —debido a que escribir o borrar un bit de información por segundo nos cuesta consumir una potencia en vatios de $\sim 10^{23}$ veces la temperatura en kelvin del procesador (Ver p.e. Feynman Lectures on Computation §5.41. Penguin 1999)—. Por supuesto, como es evidente gran parte del calor generado provendrá de otros procesos corporales, por lo que incluso podemos intuir que la verdadera cantidad es bastante menor, salvo que el cerebro hiciese un uso muy eficiente de tipos de computación reversible e incluso cuántica, lo que no parece probable.

II. Densidad crítica y destino del universo.

El mejor valor del parámetro de densidad —definido como la fracción de la densidad total de materia y energía respecto al valor crítico de la densidad que crea un universo espacialmente euclídeo — está entre 1.00 y 1.04 según las observaciones disponibles (ver p.e.

<http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/0302209>).

En un universo de topología —geometría global— trivial sin constante cosmológica, este dato favorecería a un universo cerrado que colapsaría en un tiempo $t = \pi H_0^{-1} \Omega_0 (\Omega_0 - 1)^{-3/2} - t_0$, siendo H_0 la constante de Hubble, Ω_0 el parámetro de densidad medido en la actualidad y t_0 el tiempo de expansión transcurrido hasta la fecha. Para $\Omega_0 = 1.04$, $H_0 \sim 70$ km/s/Mpc y teniendo en cuenta que $t_0 \sim 10^{10}$ años, obtenemos un tiempo mínimo hasta el Big Crunch del orden de 10^{11} años.

Sin embargo, la existencia de una constante cosmológica cambia bastante las cosas. En principio las observaciones son compatibles con un universo de geometría espacial euclídea ($\Omega_0 = 1$) y en eterna expansión acelerada. Pero la constante cosmológica —de cuyo origen poco o nada se comprende— podría corresponder a un estado de vacío de un campo escalar desconocido que podría decaer a un estado menos energético y revelar la existencia de una constante cosmológica negativa que haría finalmente colapsar el universo. Algunos modelos sencillos ponen un límite inferior similar al anterior $\sim 10^{10}$ - 10^{11} años (<http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/0307185>). El destino del universo queda así básicamente indeterminado debido a nuestro desconocimiento actual (ver Kraus, L.M. & Turner M.S. 1999. *Geometry and destiny*. Gen. Rel. Grav. 31, 1453. Disponible en <http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/9904020>).

11. Referencias

- Adams, F.C. & Laughlin G. 1997. *A Dying Universe: The Long Term Fate and Evolution of Astrophysical Objects*. <http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/9701131>. Los mismos autores han publicado un libro de divulgación *The Five Ages of the Universe : Inside the Physics of Eternity* (The Free Press, New York, 1999).
- Anthropic-principle.com. <http://www.anthropic-principle.com/>
- [The] Artificial Self-Replication page. <http://www.cs.bgu.ac.il/~sipper/selfrep/>
- Barrow, John, Davis Paul & Harper, Charles Eds. *Science & Ultimate Reality*. Cambridge University Press. 2003.
- Barrow, John D. & Tipler, Frank J. 1986. *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford: Oxford University Press.
- Bostrom, Nick. *Anthropic Bias: Observation Selection Effects in Science and Philosophy*. Routledge New York & London 2002.
- Bostrom [Nick] Homepage. <http://www.nickbostrom.com/>
- Caldwell *et al.* 2003. *Phantom Energy and Cosmic Doomsday*. <http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/0302506>
- Carter, B. 1983. *The anthropic principle and its implications for biological evolution*. Phil. Trans. Roy., Soc., Lond., **A310**, pp. 347-363.
- Cirkovic Milan M. 2002. *A Resource Letter on Physical Eschatology*
- Closer to Truth Homepage. <http://www.closetotruth.com/>
- Davies Paul. *Los Últimos Tres minutos*. Ed.???
- Davies, P. 2003. *Multiverse or Desing?*. Reflections on a "Third Way"
- Denett, D. 1995. *La peligrosa idea de Darwin*. Círculo de Lectores. 1999
- Deutch, David 1997. *La Fábrica de Realidad*. Anagrama.
- Drexler, K.E. (1985). *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. London: Forth Estate. <http://www foresight.org/EOC/index.html>
- Dyson, F.J. 1979. *Time without end: physics and biology in an open universe*. *Reviews of Modern Physics*, Vol. 51, No. 3, 447-460. Dyson ha divulgado sus resultados en su libro de 1988 *El Infinito en todas direcciones*. Tusquets. 1991 §6.
- Freese, K. y Kiney, W. 2002. *The Ultimate Fate of Life in an Accelerating Universe*. <http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/0205279>

- Garriga, J. et al. 2000. *Eternal inflation, black holes and the future of civilizations*. <http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/9909143>.
- Gott III, J. R. 1993. *Implications of the Copernican principle for our future prospects*. Nature, vol. **363**, 27 May, pp. 315-319.
- Guth A.H. 1998. *El Universo Inflacionario*. Debate. 1999.
- Harrison, Edward 1995. *The Natural Selection of Universes Cointaining Intelligent Life*. Q.J.R. astr. Soc. **36**, 193-203
- Hernández, P.J. *El Argumento del diseño y el Principio Antrópico*. El Escéptico. nº9. Verano 2000
- Hiscock, W. A. 2002. *From Wormholes to the Warp Drive: Using theoretical physics to place ultimate bounds on technology*. <http://xxx.lanl.gov/abs/physics/0211114>
- Horgan, John 1996. *El Fin de la Ciencia*. Paidós Ibérica. 1998.
- Journal of Evolution and Technology*. <http://www.jetpress.org/index.html>
- Krauss, L. M. y Starkman G. D.. 2000. *Life, the universe, and nothing: life and death in an ever-expanding universe*. Astrophys. J. **531**, 22-30. Disponible en <http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/9902189>. Los mismos autores han escrito una versión no técnica que puede ser encontrada en <http://www.physics.hku.hk/~tboyce/sf/topics/life/life.html>.
- Kraus, L.M. & Turner M.S. 1999. *Geometry and destiny*. Gen. Rel. Grav. 31, 1453. Disponible en <http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/9904020>
- Kurtz, Paul. *Are Science and Religion Compatible?*. Skeptical Inquirer March/April 2002, 42-45. Traducción Lerma, M. A. 2002. El Escéptico. nº 12 otoño/invierno 2001 68-71.
- Linde, A.D. 1988. "Life after inflation," A. D. Linde, Physics Letters **B 211**, 29.
- Linde, Andrei. *The Self-Reproducing Inflationary Universe*. Actualización on-line del mismo artículo aparecido en Scientific American. November 1994. <http://physics.stanford.edu/linde/1032226.pdf>.
- López, Cayetano 1999. *Universo sin fin*. Taurus.
- Minsky Marvin 1991. *Conscious Machines*. <http://www.mmu.ac.uk/h-ss/sis/wmj/m&a/minsky.htm>
- Minsky Marvin, *Will Robots Inherit the Earth?*. Scientific American, October 1994. <http://www.ai.mit.edu/people/minsky/papers/sciam.inherit.html>.
- [The] Simulation Argument Homepage. www.the-simulation-argument.com
- Smolin, Lee 1997, *The Life of the Cosmos*. New York, Oxford
- Starobinsky, A.A. 1999. *Future and Origin of our Universe: Modern View*. <http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/9912054>
- Stenger, V.J. 2002. *Has Science Found God? The Latest Results in the Search for Purpose in the Universe*. Prometheus Books. Algunos capítulos de ejemplo y trabajos relacionados pueden encontrarse en <http://spot.colorado.edu/~vstenger/god.html>
- Tegmark, Max. 2003. *Parallel Universes*. <http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/9909143>
- Tipler, F.J. 1994. *La física de la Inmortalidad*. Alianza Universidad. 1996.
- World Transhumanist Association. <http://www.transhumanism.org/>