

Los nuevos roles de la Ciencia en el siglo XXI:

“Nuevos Roles y Retos de la Investigación en Cosmología y Física-Matemática: el decisivo papel de Europa”

Prof. Dr. Prof. H.C. Emilio Elizalde
Instituto de Ciencias del Espacio
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Campus UAB, Bellaterra (Barcelona)

Por mucho que los tiempos avancen, las ciencias fundamentales conservarán siempre un rol básico, esencial e irremplazable, de adquisición de conocimientos, cada vez más amplios y precisos, sobre el mundo que nos rodea, esto es, sobre la realidad física del cosmos. Y ello a muy diferentes escalas métricas, desde las nano, pico y femto hasta las giga, tera y peta---eso por ahora. Nos mareamos solo de considerar las literalmente infinitas posibilidades de tan amplio abanico, en nuestro insaciable deseo por conocer y aprender sin tregua. Somos seres racionales. Nuestras mentes quieren comprender, cada vez con mayor profundidad, no solo todo lo que nos rodea y palpamos (que ya es tópico) sino también aquello que se halla a miríadas de kilómetros de distancia, en los albores y confines del Universo, o en el interior profundo de una célula, de un átomo y aún más abajo. Los experimentos más recientes llevados a cabo en el laboratorio LHC del CERN, en Ginebra (Suiza) nos transportan a las condiciones precisas que se dieron en el mismísimo inicio del Cosmos, cuando habían transcurrido tan solo tres milbillonésimas de segundo desde su origen---eso es, 3 femtosegundos, o 3×10^{-15} s. Solo de pensarlo da escalofríos, como también los experimentos de ingeniería genética capaces ya de generar órganos para reparar un cuerpo humano dañado o imperfecto, sin tener que depender exclusivamente de los trasplantes de órganos provenientes de otros seres humanos. Sirvan estos rápidos ejemplos, a vuela pluma, para traer a nuestra memoria los incontables avances de la ciencia de vanguardia de los que nos podamos acordar ahora mismo. Seguro que se nos ocurrirán muchos, a cuál más importante.

Pero, con ser estos objetivos tan esenciales de adquisición y uso del conocimiento, comunes a la investigación científica desde, por lo menos, la época pre-socrática, no cabe la menor duda de que los métodos, las técnicas, las orientaciones, la organización en grandes equipos de trabajo, la transmisión instantánea de información, su almacenamiento y su uso han experimentado un cambio extraordinario, abismal, no ya en

el último siglo sino en tan solo las dos últimas décadas. El tema es muy extenso y daría para mucho; resulta del todo inabarcable en estas pocas páginas. Me limitaré pues a analizar aquí tan solo, a la luz de los acontecimientos de la última centuria, los nuevos roles de la investigación en Cosmología y en Física-Matemática, en nuestro camino, ya iniciado, por el nuevo milenio, haciendo especial énfasis en la perspectiva europea.

Algunos de estos cambios son en realidad comunes a muchas otras (si no a la totalidad) de las disciplinas científicas. Es una opinión, creo que bastante extendida, la de que Europa se había caracterizado, hasta hace muy poco tiempo, por una excesiva compartimentación del conocimiento, con raíces que algunos quieren ver tan lejanas que las sitúan en el *trivium* y el *quadrivium*. Sea como fuere lo cierto es que, cuando muchos de nosotros estudiamos en la Universidad, resultaba de lo más normal que los especialistas de las diversas ramas del árbol de la Ciencia no se hablasen entre sí, pues no encontraban sentido en compartir conocimientos, en interaccionar, en atacar problemas desde ángulos distintos, en traspasar metodologías de una rama a otra. Cada profesor era un genio (geniecillo a menudo), señor absoluto de su propio castillo (o cueva, según se mire), agravado en el caso de España por el hecho de propiciarse muy pocos o ningún contacto con el mundo exterior, en muchos casos. Esta compartimentación, de paredes infranqueables, se ve hoy absurda, ridícula, incomprensible y anti-natura. No voy a entretenerme en analizar sus causas ni razones, que son varias.

Lo que sí bien procede es apuntar que el extraordinario cambio que ha tenido lugar en este aspecto en Europa y, en particular, en nuestro país---aún sin llegar, es cierto, al nivel de los Estados Unidos---ha sido tal vez el cambio de rol más importante de todos los que se han producido en la ciencia europea, en sentido genérico, en los últimos veinte o treinta años. Y no podemos en absoluto olvidar el papel que ha jugado en esta `normalización' la propia Fundación Humboldt. Sus esfuerzos generosos, constantes y repetidos por poner en contacto---en reuniones anuales, nacionales, regionales y locales---a sus *Stipendiaten*, de tan alto nivel tras un duro proceso de selección, y de tan variadas disciplinas, junto con la gran influencia (en algunos casos) que éstos y éstas han podido ejercer en la dirección correcta a su regreso a sus países de origen, merecen un debido reconocimiento. En otro orden de cosas, durante mi estancia en Hamburgo como humboldtiano pude apreciar también la consideración que algunos de los grandes físicos teóricos alemanes tenían por otras disciplinas, que les eran fuente de inspiración en diversas ocasiones.

Un paso más en esta dirección ha sido la aparición de disciplinas interdisciplinarias (valga por una vez la redundancia, creo que justificada), que han recibido un empujón positivo en diversos e importantes ámbitos, como por ejemplo en algunos Programas Europeos. Necesario, sin lugar a dudas, puesto que como practicante activo de la multidisciplinaridad en mis campos de trabajo puedo dejar constancia, de primera mano, de las dificultades sufridas en mi país a lo largo de mi vida, que postergaron con las razones más absurdas (a veces kafkianas) mi promoción en diversas ocasiones. Era un continuo remar contra corriente, y ésta era realmente fuerte y poderosa, como ya he apuntado antes.

En el nuevo contexto que he descrito, el papel de la Matemática se revela especialmente importante, por su absoluta transversalidad. Conocido es, desde Galileo, que *“el libro de la naturaleza está escrito en lenguaje matemático”*. Un lenguaje del que el propio Galileo carecía y que Newton y Leibniz construyeron bien pronto (ya que nacieron a poco de la muerte del Galilei) en su parte más substancial y en extremo importante: el cálculo infinitesimal. Hoy las leyes de la Física, desde luego, pero también de la Biología, de la Medicina, de la Economía, de la Sociología, de cualquier disciplina científica o en vías de serlo, en suma, se expresan mediante ecuaciones matemáticas. Pero el nuevo rol de la Matemática no es tan solo la implementación o perfeccionamiento del que empezó a tener hace ya varios siglos. Su papel actual va mucho más allá del de simple lenguaje en el que articular leyes fundamentales. Alcanza hasta la descripción muy precisa de los fenómenos mediante una modelización específica y en extremo detallada. Llega a adelantarse al descubrimiento de nuevas técnicas y posibilidades en las que a veces no se había ni pensado, y se adentra por zonas inaccesibles a la propia experimentación física o química.

Pondré solo un ejemplo, que tiene que ver precisamente con la Cosmología y que se ha llevado a cabo precisamente en mi Instituto de Ciencias del Espacio, en Barcelona, por parte de mis antiguos estudiantes de doctorado (ahora enormes especialistas de los que me siento muy orgulloso). En el gran ordenador Mare Nostrum, uno de los más potentes de Europa, alojado en una antigua capilla en el campus de Pedralbes de Barcelona, hemos logrado reconstruir una etapa que abarca mil millones de años de la evolución de nuestro Universo [1]. Y todos los tests realizados hasta ahora le dan un amplio margen de fiabilidad. Pero, en otro extremo completamente distinto, los métodos de combinatoria matemática resultan imprescindibles a la hora de descifrar el genoma de las células, y el proteoma, y los diversos niveles de combinación interactiva de las moléculas, átomos y

partículas elementales. Las teorías de supersimetría, las teorías de cuerdas y las teorías M (maestras, o madre) precisan de una matemática cada vez más avanzada y, donde no existe, ayudan incluso a construirla, creándose una matemática nueva. Esta interacción es una experiencia maravillosa, equiparable a la más sublime sinfonía, paisaje u obra pictórica que uno haya visto o escuchado jamás, y produce tanto o más placer que estas últimas, a todo aquel que puede alcanzar a comprenderla. Algunos de los retos más importantes de la Física Teórica y de la Matemática, en Europa y en el mundo, se concretan en avanzar aún más por ese camino.

No digo nada nuevo al afirmar que uno de los grandes objetivos y a la vez mayores retos del conocimiento a nivel cosmológico es el de entender cuando y como se originó el Universo [2]. Y también, como éste ha evolucionado hasta el momento presente y como lo va a hacer en el futuro. Resumiré muy brevemente el estado de la cuestión, centrándome tan solo en los grandes retos que afrontamos en el próximo futuro, y respetando así el enfoque general de mi presentación. Lo haré de la manera más comprensible de que soy capaz, ya que no se trata éste de un artículo científico especializado.

Pese a los extraordinarios avances de la cosmología moderna [3] hemos de convivir todavía con el problema de dar una explicación convincente a las ingentes cantidades de las denominadas materia oscura y energía oscura que, según todos los indicios observacionales, contiene nuestro Universo. La materia oscura fue postulada por primera vez, de una manera clara y cuantitativa, por Fritz Zwicky en 1933 [4], a partir de sus observaciones astronómicas extraordinariamente precisas para la época. Se trata de una cantidad enorme de materia, unas siete veces mayor que la materia visible, que observamos y que sabemos que existe, sin duda, debido a sus efectos gravitacionales: anomalías en las curvas de rotación de las galaxias, sus efectos como lentes gravitatorias (de acuerdo con la teoría de la Relatividad General de Einstein), y otros. No sabemos aún de qué está hecha esta materia que ha escapado hasta el presente cualquier detección directa. Astrónomos actuales muy famosos en este contexto son Vera Rubin y Kent Ford [5], por sus trabajos de los años setenta del pasado siglo. Cabe mencionar, para los más avezados, que han surgido propuestas de explicación alternativas que eliminan la existencia de dicha materia oscura, en base a una modificación de las leyes de Newton a gran escala (la propia Vera Rubin ha defendido vehementemente alguna de estas propuestas alternativas). Pero la gran mayoría de los investigadores en materia oscura

están buscando las llamadas *wimps* (*weekly interacting massive particles*, o partículas con masa que interaccionan muy débilmente), en grandes proyectos como [6]: el “*XENON Dark Matter Project*” (XENON1T), experimento localizado en la montaña del Gran Sasso, en la Italia central; el “*European Underground Rare Event Calorimeter Array*” (EURECA), que será construido en el Laboratorio Subterráneo de Modane, en el túnel de Fréjus entre Francia e Italia, que es el laboratorio subterráneo a mayor profundidad de Europa; el “*Axion Dark Matter Experiment*” (ADMX), proyecto americano de la Universidad de Washington, en Seattle (EEUU); y el “*LZ Dark Matter Experiment*”, proyecto americano también. Se tienen puestas muchas esperanzas, en particular, en el proyecto XENON1T, auspiciado por el CERN, el mayor centro de física de partículas del mundo con sede en Ginebra, Suiza, que no hace mucho descubrió el importantísimo bosón de Higgs---que tiene a su vez implicaciones fundamentales en Cosmología (por falta de espacio quedan desafortunadamente fuera del alcance de este artículo) y es una muestra palpable del liderazgo europeo en física de altas energías. Impregnada como está nuestra Asociación de vocación europea y universal, heredada en particular del “*Kosmos*” de Alexander von Humboldt [7], debemos sentirnos extraordinariamente orgullosos de todos estos logros y, aún más, de la perspectiva que nos abren de cara al futuro.

Hablemos ahora de la energía oscura. Observaciones astronómicas llevadas a cabo, hace menos de veinte años, por dos equipos de una treintena de científicos cada uno (Riess et al., Perlmutter et al., 1998; participó en esta última colaboración la muy reconocida investigadora María Pilar Ruiz Lapuente, de la Universidad de Barcelona, que fue alumna del autor de este artículo, durante un par de cursos) indican que la expansión del Universo tiene lugar de manera acelerada. Pero para que eso ocurra, como bien sabemos desde Galileo, s. XVI, y Newton, s. XVII, ha de existir una fuerza, y ésta debe actuar a nivel cósmico. La gran pregunta es ahora: ¿cuál es la naturaleza de la fuerza que es capaz de producir la aceleración del mismísimo ‘tejido’ del cosmos? Al igual que en el caso de la materia oscura, no hemos sido aún capaces de dar respuesta a esta pregunta decisiva, que es si cabe aún más misteriosa que la anterior y a la que le corresponde explicar una fracción mucho mayor del balance energético total del universo (superior al 70%).

Se han propuesto para ello diversos modelos y experimentos [8], el más simple de los cuales respeta en su totalidad la validez de la teoría general de la relatividad de Einstein, con el simple añadido de su famosa constante cosmológica (que él introdujo para estabilizar el modelo de universo estático imperante en su época y que ahora sería capaz

de propulsar su expansión acelerada). La naturaleza física de dicha constante era todo un misterio para Einstein pero ahora sabemos que bien podría tratarse de una manifestación de las fluctuaciones cuánticas del estado vacío de los campos físicos que permean el universo [9]. Aunque complicado de entender, podría parecer a primera vista que la respuesta es sencilla y natural, de no ser por el hecho de que cuando se hacen los cálculos los números no cuadran: la discrepancia es astronómica (y nunca mejor dicho). Existen en este punto grandes desavenencias entre teoría y observación: es lo que se conoce como 'el problema de la constante cosmológica'.

Reflexionando un momento, a poco que sepamos de física podemos llegar a entender fácilmente que un universo en expansión uniforme, como el modelo de *Big Bang*, no necesita de la actuación de ninguna fuerza para seguir así, expandiéndose indefinidamente: sería suficiente para ello el impulso inicial del *Big Bang*. Eso sí, siempre y cuando la densidad de materia-energía del universo sea inferior a un valor crítico; ya que, de lo contrario, una alta densidad de la misma sería capaz de frenar la expansión del universo hasta reducirla a cero, momento a partir del cual empezaría a contraerse hasta terminar en lo que se conoce con el nombre de *Big Crunch*. Siendo aún más pedagógicos, imaginemos a un niño, el Principito, pongamos por caso, que vive en un planeta minúsculo de 1 Km de radio (por decir algo). Si el Principito lanzase una piedra con todas sus fuerzas ésta ya no regresaría para caer luego sobre él, sino que se perdería en el espacio, alejándose para siempre. Pero si el Principito la lanza desde la Tierra es seguro que terminará cayendo. Piénselo el lector (o lectora) por un momento y verá que se trata del mismo principio físico de que estoy hablando.

Hasta hace solo veinte años, antes del descubrimiento de la expansión acelerada, la cuestión crucial, la más fundamental de toda la cosmología era averiguar si la mencionada densidad de materia-energía del universo era superior o inferior al valor crítico, en otras palabras, si el universo iba a continuar expandiéndose por siempre o si, por el contrario, dicha expansión se frenaría del todo en un futuro para a partir de ahí empezar a contraerse sin remedio, hasta el *Big Crunch*.

El paradigma ha cambiado completamente con el descubrimiento de que la expansión del universo se acelera. Este hallazgo es uno de los mayores descubrimientos de toda la historia de la Humanidad. Ello hace que la energía oscura, como ya he dicho, sea intrínsecamente mucho más misteriosa, fundamental e interesante que la materia oscura. ¿De dónde proviene la fuerza que actúa constantemente sobre la piedra que ha lanzado

nuestro Principito y que sigue acelerándola sin cesar? De otra manera, ¿de dónde sale la fuerza cósmica que acelera constantemente la expansión de nuestro universo? De hecho, no se ha probado todavía que dicha aceleración sea constante. Para ello deberíamos demostrar que su derivada es nula, cosa que resulta del todo imposible con los datos (por más precisos que sean) de que disponemos. A nivel puramente matemático, la constante cosmológica de Einstein es capaz de realizar esta función. Cuando la propuso en 1917 no había explicación física a este término, pero desde hace unas décadas sabemos que la física a que obedecen las entrañas del universo (sus niveles atómicos y subatómicos) es cuántica. Y eso lo conocemos ahora con una precisión increíble de más de 15 cifras decimales, una tras otra y sin un solo fallo. También los fenómenos que tuvieron lugar en el universo cuando éste era muy pequeño y caliente se rigen por la Física Cuántica, la cual afirma en particular que, en cualquier sistema imaginable, incluso su estado de menor energía, el denominado estado vacío (*la nada*, en otras palabras), está plagado de fluctuaciones cuánticas que, pese a ser virtuales, pueden manifestarse como una fuerza que resulta medible con precisión en el laboratorio (el efecto Casimir y otros) [9]. Esta fuerza no es ninguna entelequia difícil de observar sino todo lo contrario, se trata de una fuerza común a todo sistema cuántico y que hay que tener en cuenta siempre, aunque a veces es demasiado pequeña en comparación a las demás fuerzas que intervienen en nuestro sistema (electrostáticas, o incluso gravitatorias) y deviene inobservable. Todo depende de diversos factores.

A nivel cósmico las fluctuaciones del vacío cuántico deberían, de acuerdo con las teorías más usuales, dar origen a una fuerza mucho mayor que la que se observa, por ejemplo, en la aceleración del universo. Como había antes avanzado, los valores no cuadran y no hay una explicación aceptada por todos, de tal hecho. Es tal vez el mayor de los retos de la física fundamental en la actualidad y, por ende, de la cosmología. Algunos grandes físicos, incluyendo insignes premios Nobel, como Steven Weinberg, llevan muchos años trabajando en esta cuestión, habiendo involucrado incluso el principio antrópico para obtener una explicación satisfactoria al valor tan pequeño de la constante cosmológica y al hecho de que no se observan los efectos de las fluctuaciones cuánticas a escalas grandes.

Pero si este camino se demostrase que no tiene salida queda aún otra posibilidad, cual es la de modificar las ecuaciones de Einstein, la propia Teoría de la Relatividad General (cuando menos a escalas grandes); con lo que se entra en las teorías denominadas $f(R)$ o

de escalares-tensores. En nuestro grupo del Instituto de Ciencias del Espacio (CSIC) y del Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC), liderado por el autor de este artículo y junto al Profesor ICREA Sergei D. Odintsov, estamos trabajando en este tipo de modelos, con colaboradores de diversos países europeos, americanos y de otros continentes. Los trabajos que hemos publicado sobre este tema han tenido un considerable impacto internacional, siendo así que nuestro Instituto ha llegado a alcanzar la posición número ocho del mundo en número de citas del Science Citation Index por investigador (el denominado *Normalized Impact Factor*), solo por detrás del *Broad Institute of MIT and Harvard* y de *Novartis Pharma*, por ejemplo, y por delante a su vez de grandes instituciones como el *Dana Farber Cancer Institute* y el *J. Craig Venter Institute*. Esto puede parecer increíble pero el hecho es que llegamos hace un par de años a ocupar el número dos en Europa, solo por detrás del *Whitehead Institute for Biomedical Research*. En España nunca hemos sido apeados del número uno.

Habla todo lo anterior, mejor que nada, de las posibilidades de la ciencia básica europea en su confrontación con la de los países más avanzados del mundo, como EEUU o Japón. Y no solo de eso, sino en particular de las posibilidades de España en Europa y en el mundo. Con inteligencia, tesón, intuición y muchas horas de trabajo, a lo que hay que añadir la necesaria financiación, digna y a ser posible generosa, por parte de instituciones públicas y privadas, podremos plantearnos cualquier reto. Sobre el punto del necesario apoyo económico he de advertir que nuestras posiciones récord las logramos en la época de bonanza, en 2011 y 2012, cuando la financiación de la investigación en España pugnaba por acercarse a su objetivo de la media europea. Desde entonces nuestra posición en el ámbito internacional no ha dejado de caer, año tras año. Quien tenga ojos, que vea, y quien tenga oídos---y dos dedos de cerebro---que entienda.

Pero retomemos el sendero del artículo. Toda la Cosmología moderna surge de las ecuaciones de Einstein y, por ello, dar el arriesgado paso que hemos mencionado de intentar modificarlas se traduce en entrar, como de hecho se está haciendo en la actualidad, en una nueva era del conocimiento teórico. En realidad, es bien sabido desde que se empezó a trabajar en ello por parte de la escuela rusa a mediados de los años setenta del siglo pasado, que las ecuaciones de Einstein no pueden ser la última palabra en nuestro conocimiento del cosmos, ya que no incorporan a la física cuántica. Parece, por otro lado, que una teoría de la gravedad cuántica deviene siempre inconsistente, lo que constituye otro de los grandes retos de la ciencia de nuestro milenio. Lo único que se ha conseguido

hasta el presente es corregir mínimamente las ecuaciones de Einstein añadiéndoles perturbaciones cuánticas, lo cual puede verse como un remiendo en la buena dirección y apunta, de nuevo, hacia las ya mencionadas teorías $f(R)$. En cualquier caso, desde un punto de vista más fundamental estas teorías modificadas se consideran como teorías intermedias, o efectivas. Todo son indicios, a mi entender, de que nos encontramos a las puertas de una nueva gran revolución científica.

Dado que, según hemos visto, el Universo tuvo con gran probabilidad un origen, otro gran reto de la Cosmología, la Física Fundamental y la Matemática, para el milenio que acabamos de iniciar, consiste en encontrar una explicación coherente al instante mismo en que tuvo lugar dicho origen. Para Stephen Hawking y Roger Penrose este instante es una pura singularidad matemática del espacio-tiempo, siempre en base a la Teoría de la Relatividad General. Nuevos modelos (de Borde, Guth y Vilenkin) en que se combinan, además, la inflación y las necesarias fluctuaciones cuánticas del estado vacío de un sistema primigenio (antes mencionadas), llevan también a la conclusión de que el Universo tuvo un origen: que hubo un momento en que surgió nuestro espacio-tiempo. Pudo ocurrir así: en el seno del estado vacío del sistema primigenio una chispa, un destello (campo escalar, instantón de Hawking y Turok) habría sido capaz---a coste energético cero---de iniciar un proceso de inflación que amplificaría extraordinariamente las pequeñísimas fluctuaciones (escala de Planck) del vacío cuántico---que están siempre presentes, de acuerdo con el principio de incertidumbre de Heisenberg (uno de los pilares de la Física Cuántica)---para dar así origen a las fluctuaciones que observamos hoy claramente en el fondo de radiación cósmica (CMB). Estos son los mapas más antiguos del Universo que hemos logrado obtener hasta ahora: datan de cuando tenía tan solo unos 370.000 años de edad. Aunque la cosa cambiará mucho, sin duda, con los mapas que se construirán a partir de las ondas gravitacionales, dentro de unos años. Antes de eso el cosmos, muy caliente, era una oscura sopa de quarks, gluones y partículas elementales, impenetrable a los fotones; hasta que la temperatura fue descendiendo y se situó por debajo del umbral de ionización del átomo más liviano, el de hidrógeno. Éste precipitó, de repente, a gran escala y de este modo, por primera vez, la luz del alba cósmica invadió el Universo. Y aún hoy día sigue llegando hasta nosotros de todas las direcciones; y la podemos observar nítidamente con los ojos curiosos de satélites como COBE, WMAP y PLANCK, que la han transformado en imágenes, cada vez con mayor definición, del mapa más antiguo del Cosmos, del que acabamos de hablar. Finalmente, ha quedado

definido el que se denomina modelo cosmológico estándar o Λ CDM (modelo de *Cold Dark Matter*, o materia oscura fría, con constante cosmológica, Λ). No se trata, de nuevo, sin embargo, de un modelo definitivo.

Son muchos los teóricos que opinan que la última respuesta llegará, tarde o temprano, de la mano de las teorías de cuerdas, en su versión de la tan misteriosa teoría M (maestra o madre), la también denominada “*teoría del todo*”. Pero un error que ha sido repetido demasiado a menudo a lo largo de Historia de la Ciencia es haber creído que se estaba a punto de tener entre las manos la teoría final. Eso es, que solo faltaba perfilar algunos aspectos, tapar algún agujero, para dejarla acabada, perfecta. Nada más lejos de la realidad, como se ha probado en diversas ocasiones en el pasado. El autor de este artículo opina que, por el contrario, surgirá una nueva teoría, muy distinta de las que tenemos ahora y, tal vez, tanto o más revolucionaria de lo que lo fueron la Relatividad General y la Física Cuántica hace ahora cien años.

A fin de adentrarnos más allá, eventualmente hasta el instante cero, necesitaremos aún otros ‘ojos’ más penetrantes, capaces de captar la información de las ondas gravitacionales que fueron detectadas directamente, hace menos de un año, en dos laboratorios de los EEUU. Seremos así capaces de obtener fotografías de un Universo aún mucho más joven y, previsiblemente, de confirmar la inflación cósmica. Pero lo que resulta muy difícil con la física actual, aun invocando el controvertido principio antrópico, es construir un modelo de origen y evolución de un único Universo como el nuestro. Las teorías más avanzadas, que ya hemos mencionado, producen genéricamente multiversos, es decir, innumerables colecciones de universos, de todas las dimensiones y propiedades imaginables uno de los cuales, por puro azar, sería el nuestro. Según muchos científicos estas propuestas desbordan las fronteras de la propia Física al escapar todos los métodos de predicción contrastable. Aún no se ha dicho, sin embargo, la última palabra en este tema, y hay algunos equipos que están buscando pruebas observacionales para apoyar la posible realidad de tales modelos. El tiempo nos dará la respuesta. Con ello hemos alcanzado aquí la frontera del conocimiento presente y, a la vez, el final de este artículo.

Prof. Dr. Prof. H.C. Emilio Elizalde

Bibliografía.

1. M. Crocce et al., “*MICE simulations - a tool for cosmological surveys*”, astro.dur.ac.uk/ripples/Day2/MICE_castander_130723.pdf
2. Steven Weinberg, *The First Three Minutes* (Basic Books, 1977, updated 1993); Robert W. Wilson, *The Cosmic Microwave Background Radiation*, Nobel Lecture, 8-12-1978; http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1978/wilson-lecture.pdf;
G. Gamow, “*The Origin of Elements and the Separation of Galaxies*”, Physical Review 74, 505 (1948); G. Gamow, “*The evolution of the universe*”, Nature 162, 680 (1948); R.A. Alpher and R. Herman, “*On the Relative Abundance of the Elements*”, Physical Review 74, 1577 (1948); G. Gamow, “*One, Two, Three ... Infinity*” (Viking Press, 1947, revised 1961), (Dover P., 1974)
3. E. Elizalde, “*L’origen i el futur de l’Univers*”, en *La Terra a l’Univers: Astronomia*, Enciclopèdia Catalana, Barcelona 2012; pp. 186-194.
4. F. Zwicky, “*Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln*”, Helvetica Physica Acta. 6: 110–127 (1933).
5. Vera C. Rubin and W. Kent Ford, Jr., “*Rotation of the Andromeda Nebula from a Spectroscopic Survey of Emission Regions*”, The Astrophysical Journal. 159: 379–403 (1970).
6. “*The XENON Dark Matter Project*”, <http://xenon.astro.columbia.edu/>; http://cordis.europa.eu/project/rcn/101085_en.html; <http://www.sciencemag.org/news/2014/07/two-big-dark-matter-experiments-gain-us-support>.
7. Alexander von Humboldt, “*Kosmos – Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*”, Band I - V, 1845 - 1862.
8. <https://www.darkenergysurvey.org/>; <http://sumire.ipmu.jp/en/>; https://twitter.com/ACT_Pol; <http://hetdex.org/hetdex/>; <http://www.sdss3.org/surveys/boss.php>; <http://sci.esa.int/euclid/>.
9. E. Elizalde, “*El efecto Casimir*”, Investigación y Ciencia 3/2009.