

Entrevista ::

“La comunicación de la ciencia se hará cada vez más en forma de preprints colgados de internet... es un camino sin vuelta atrás”

Karim Gherab Martín, filósofo de la ciencia

Ignacio Fernández Bayo
Divulga, SL
e-mail: ibayo@divulga.es

Karim Gherab Martín se licenció en Física Teórica en 1997 por la Universidad Autónoma de Madrid, la misma en la que se doctoró en Filosofía siete años más tarde. Su vida profesional se inició en diversas empresas privadas como experto en tecnologías de la información, actividad que abandonó en 2007 para dedicarse de lleno al mundo académico. Durante 2008 y 2009 estuvo en Cambridge (Massachusetts, EEUU) como investigador postdoctoral en la Universidad de Harvard, y desde 2010 es profesor invitado en la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign (Illinois, EEUU). Ha sido profesor asociado de Historia de la Ciencia en la Universidad Autónoma de Madrid, participa como profesor en el Master de Gestión de la Innovación y el Conocimiento de la Universidad del País Vasco, e imparte clases regularmente en la Universidad CEU San Pablo.

Sus investigaciones se orientan a la Historia y Filosofía de la Física, así como a los Estudios de Ciencia y Tecnología. Entre otros escritos, ha sido co-autor de *El templo del saber: hacia la biblioteca digital universal* (Deusto, 2006), traducido al inglés como *The new temple of knowledge: Towards a universal digital library* (Common Ground Publishing, 2008) y de *La larga sombra de Gutenberg: Tecnología y cultura* (Luarna, 2010). También ha co-editado el libro *Emerging digital spaces in contemporary society: Properties of technology* (Palgrave-Macmillan, 2011) y ha sido editor del monográfico *Science and culture on the web (Ciencia y cultura en la red)* en la revista *Arbor*.

De su paso por la física le queda una evidente pasión por la ciencia, aunque la satisfaga ahora desde la reflexión. Es inquieto por naturaleza y como buen filósofo, sobre todo si trabaja en el ámbito de la ciencia, con una curiosidad ilimitada. La misma que le llevó a realizar, hace ya unos años, un curso de periodismo científico que codirigía quien ahora le entrevista. De allí nació una amistad intermitente, retomada de cuando en cuando gracias a las nuevas tecnologías, de la mano del correo electrónico y las redes sociales y plasmada en alguna aventura divulgativa. Esa inquietud le ha llevado también a abandonar una carrera profesional que habría parecido atractiva a muchos otros para dedicarse al pensamiento sobre el papel de la ciencia en el mundo y sus futuros derroteros.

¿Qué hacía un filósofo en un congreso de matemáticas?



Me llamaron para hablar de publicaciones, de la literatura matemática y de cómo internet está cambiando todo lo que tiene que ver con la comunicación científica, el intercambio de *papers*, etc. Y como yo me he especializado en este tema querían que les comentara el marco en el que se mueven las comunicaciones científicas ahora mismo y cuál era el lugar de los matemáticos dentro de ese cambio que se está produciendo con internet y las nuevas tecnologías.

¿Y dónde están?

Bueno, los físicos y los matemáticos han desarrollado unas nuevas formas de comunicarse basadas en *preprints*, que son borradores de artículos que cuelgan en servidores digitales específicos. La propia palabra *preprint* indica que se trata de un borrador que aún no se ha enviado a la revisión por pares, a la evaluación.

¿Que está en el proceso?



... Bueno, sí, o que está en el proceso de ser evaluado. Lo que hace un físico o un matemático en ArXiv.org. Ese es el paradigma de repositorio digital de *preprint*. Este es el servidor donde cada mañana los especialistas actuales miran lo que hay. No en todas las disciplinas de matemáticas pero muchas, sobre todo aquellas más cercanas a la física y en especial a la física de altas energías, porque los físicos de altas energías son los que crearon este lugar y claro, topología, geometría diferencial... ramas de las matemáticas que están muy enlazadas a la física o que desarrollan herramientas que los físicos necesitan, físicos de cuerdas...

¿Con qué idea se colocan ahí? ¿Para que otros opinen, critiquen... la tarea de los *referees*, en definitiva?

Digamos que la primera motivación fue la inmediatez, el no tener que esperar los siete, ocho, nueve meses o más de un año que tardaban en revisar los pares y en publicarse... todo el proceso, vamos, del papel, distribución, etc. Uno de los problemas de la revisión por pares era que, por costes, tenían que tener un cierto número de artículos en una revista, ni muchos más ni muchos menos, normalmente al menos cinco, y eso retrasa aún más.

Suelen tener más que menos, ¿no?



Son muchos los que quieren publicar, pero hay que poner el límite en algún momento. Además, por suerte o por desgracia, las matemáticas no progresan de forma lineal, de forma que no siempre hay cinco buenos artículos que publicar; a veces hay ocho y a veces hay tres. Así que, a veces, hay artículos muy buenos que se dejan para el siguiente trimestre, con lo cual se retarda innecesariamente la difusión del conocimiento matemático; y hay veces que se meten cosas que igual se podrían haber ahorrado incluir.

Con este sistema eso se soluciona porque cabe todo, ¿no?

Claro, es que la revista electrónica, o en este caso el colgar *preprints* en un servidor, da mayor inmediatez al no esperar ocho meses: se cuelga al día siguiente.

Pero tiene el inconveniente de que no han pasado las revisiones. ¿Eso cómo se salva?

Eso depende mucho de las disciplinas. Es decir, los físicos y los matemáticos han optado por este tipo de servidores de *preprints* que se conocen con el nombre de “repositorios temáticos o disciplinares”. Mientras que un intento muy similar que hicieron los biólogos y los químicos no funcionó de la misma manera. Cuando intentaron crear el ArXiv de los biólogos, de los biomédicos, terminaron por tener un repositorio digital controlado por las propias revistas, en el que se publicaban artículos que ya habían sido revisados por los pares y que además hubieran sufrido un embargo como mínimo de seis meses. Es decir, que la revista daba permiso, porque eran ellos los que colgaban en el repositorio biomédico los artículos.



¿Y esto por qué funciona con los físicos y matemáticos y en ciencias biomédicas, no?

Hay varias razones. Una es que ya tenían cultura de *preprints*, es decir, de intercambio de cartas; porque en los 60, en física, con el desarrollo de las bases de datos, ya se registraban todos los artículos que se iban generando. Los investigadores, al enviar su artículo, también metían su resumen y el título de su artículo en una de estas bases de datos, que se llamaba Physics Information Exchange (PIE) y estaba enfocado exclusivamente a la física de altas energías. Este experimento fue un éxito, y a partir de ahí se enviaban todos los artículos de *preprint*, esos que estaban en proceso de revisión... Entonces, cuando a algún físico le llegaba el catálogo podía pedirle el *preprint* al autor y se lo enviaba por correo ordinario, así que todo el proceso tardaba un mes, más o menos, pero era mucho menos tiempo que los doce o dieciocho meses que tarda el proceso de revisión y publicación en las revistas. Así es como empezó el modelo o tradición de *preprints*, con los físicos, y luego se sumaron los matemáticos; pero no ocurrió con los biólogos ni los químicos. De hecho, los biólogos iniciaron un sistema llamado Information Exchange Groups (IEG), financiado por los Institutos Nacionales de Salud de EEUU, y fracasó estrepitosamente. En cualquier caso, ya había una tradición anterior a la aparición de internet, lo que facilitó sobremanera las cosas.

Además, hay más intereses creados en biomedicina...

Claro. Si tú subes a internet, en abierto al público, un artículo que puede tener repercusiones médicas en la sociedad, como la automedicación, etc., las consecuencias pueden ser más graves que el hecho de que señales el descubrimiento de un nuevo planeta, un nuevo teorema... que no hace un daño social.

Y hay un grado mayor de incertidumbre en las ciencias de la vida y más margen de error, ¿no?

Es posible que tenga que ver la exactitud de cada disciplina. De todas formas, hay otro aspecto que me gustaría destacar: no sólo el de la tradición y el de las repercusiones sociales, sino el del propio engranaje de las disciplinas en sí. La comunidad matemática y la física son diferentes entre sí, y también son diferentes de los biólogos. Son etnias diferentes, y con culturas de prácticas muy diferentes, incluso con subculturas dentro de cada disciplina... la propia esencia de las matemáticas, que no da pie a patentes o a intereses comerciales del tipo medicamento, las diferencia de las revistas de química o medicina, que sí dan pie a publicidad por parte de las farmacéuticas, cosméticos y otros productos. Eso no se encuentra en matemáticas o en física.

¿Hasta qué punto es la sociedad consciente de que lo que ahí se publica está sin revisar?

Un matemático de la Universidad de California en Davis, Greg Kuperberg, decía que el *peer review* no permite decir si algo es verdad o es mentira, sino si algo es verosímil o no, si sigue la metodología adecuada, si es coherente con conocimientos previos, cita aquellos artículos canónicos de la disciplina y no dice tonterías... pero no vuelve a hacer el experimento, y entonces siempre hay una duda bastante grande. Hay casos de artículos que si hubieran pasado una especie de proceso informal previo tipo *preprint* probablemente no se hubieran publicado, y luego hay casos como el de Perelman, que publicó sus artículos en ArXiv y no están publicados en ninguna otra revista.

Bueno, hubo unos matemáticos chinos que publicaron todo el desarrollo de las demostraciones de Perelman en una revista y ocupaba trescientos y pico páginas, pero él no lo ha hecho, no.

Digamos que es un caso bastante paradigmático del cambio que se avecina. No sé si al final se acabará consolidando, pero el hecho de que le den la medalla Fields a alguien por unos artículos colgados en ArXiv no parece el mecanismo que se aceptaba antes, de publicación en una revista de conocimiento científico.

De hecho es un caso único, creo yo.

Bueno, ha habido casos de artículos que se publicaron en ArXiv y que tuvieron un alto impacto y que no se publicaron en revistas. Hay otros casos, pero este es un caso muy conocido y sobre todo porque se le otorga el mayor galardón en matemáticas por algo no publicado según lo aceptado tradicionalmente: enviar tu artículo, que sea revisado por pares, etc. Ocurrió algo parecido con el matemático indio Vinay Deolalikar por otro de los problemas del Milenio, el conocido como $P=NP$, que parecía haber resuelto. La cuestión es que se abrió un debate en blogs de internet de matemáticos y no hubo ninguna publicación que surgiera de ahí... Era también un artículo muy largo, que dio lugar a muchas discusiones entre matemáticos.

¿No fue aceptado?

No, no fue aceptado al final. Lo echaron para atrás los matemáticos. Lo curioso es que estaban de acuerdo en que el artículo era muy valioso porque había dado pie a ciertos puntos de vista que no habían tenido en cuenta anteriormente y aunque no solucionaba el problema en general, sí solucionaba problemas parciales y daba ideas. Es decir, potencialmente era un artículo publicable en una revista, pero tras ser rechazado por la comunidad matemática, probablemente ya no lo era. Sin embargo, antes de esa revisión informal por parte de prestigiosos matemáticos, habría sido un artículo perfectamente publicable y que hubiera generado más artículos en otras revistas, que era lo que sucedía antes. Hasta qué punto que un matemático cuelgue su artículo en ArXiv o en otro repositorio va a dar pie para que otros matemáticos, líderes en esas materias, como en este caso,

lean y revisen su artículo... no lo sé. Lo que está por ver son los mecanismos que podrían dar un poco de orden a todo esto.

¿Va a terminar esto con el sistema tradicional de publicaciones?

A corto y medio plazo van a convivir, porque el hecho de publicar conlleva muchas más cosas que el valor epistémico de presentar y difundir. Hay una comunicación interna entre científicos que ellos ya usan en internet, pero luego hay una comunicación diferente. Una comunicación institucional de cara a la galería, de cara a la sociedad. Es decir, que a un matemático le puede valer con que su colega cuelgue un *preprint* en ArXiv y le eche un vistazo para saber si tiene que leerlo o no, pero de cara a la sociedad, publicar en una revista de prestigio tiene un marchamo de calidad. Y es que hay muchos otros agentes y actores que rodean la comunidad científica. La ciencia, como dice el filósofo de la ciencia Javier Echeverría, ya no es ciencia sólo; en muchos aspectos es tecnociencia, sobre todo en aquellas cosas que tienen que ver con una industria alrededor. Entonces la industria que está alrededor de las revistas no son sólo los científicos, son los periodistas científicos que dicen que cogen contenidos de revistas de prestigio, necesitan saber dónde se publican los contenidos de calidad y de fiar... y también están los actores de política científica que tienen que decidir a quién le dan subvenciones, promocionar puestos académicos, catedráticos, etc. Y están las propias revistas comerciales que dan puestos de trabajo, e incluso bibliotecarios y documentalistas. Hay muchos intereses encontrados y conflictos entre todos estos actores.

Las revistas tradicionalmente no aceptaban que lo que iban a publicar se hubiese dado a conocer previamente.

Sí, este es un tema muy interesante. Esto nació en las revistas de biomedicina; donde se conocía como "*Ingelfinger rule*", la regla de Ingelfinger. Franz Ingelfinger era el editor jefe del *New England Journal of Medicine*, que es una de las revistas más importantes de medicina, cuya sede está en Boston. Este hombre impuso esta norma que se expandió al resto de revistas y áreas, y era que si tú publicabas en su revista no podías haber publicado ese mismo tema previamente en otra revista y ni siquiera haberlo comunicado antes a un periodista o incluso en un congreso o en lo que fuere. La norma se fue desarrollando poco a poco, pero empezó allí, y es probable que la tradición de los *preprints* se desarrollara en física y no en biología porque no hubo una regla de Ingelfinger en física en los años 60, que es cuando aparece esa regla. Puede que eso fuera lo que hizo que los biólogos no siguieran por esa senda y los físicos sí. Esto es un estudio que tengo pendiente.

Esto del *preprint* se parece a Wikipedia, ¿no? Compartir conocimiento, que cualquiera pueda hacer observaciones y correcciones y terminar en un artículo publicable.

Bueno, hay diferencias, porque en ArXiv no publica cualquiera. Para disponer de la capacidad para publicar y hacer comentarios tienes que tener el respaldo previo de otros dos físicos o matemáticos que ya estén autorizados. Así que hay una especie de evaluación por pares previa también. En este caso no sobre el artículo, pero sí sobre la persona. Si un físico tiene el permiso puede publicar sus *preprints*. Se han dado casos con personas a quienes les han quitado el permiso de publicar o subir artículos porque habían dado su respaldo a investigadores que no tenían un puesto académico. Es decir, si no se tiene un cierto prestigio en el área, pues uno se arriesga a que se le retire la licencia. Esto no es tan abierto como pueda parecer.

Lo decía por la filosofía de fondo, la construcción del conocimiento compartido.

Efectivamente es la colaboración, pero también es una forma de entender el avance del conocimiento como "versión beta". En la ciencia no hay un conocimiento finalizado, digamos empaquetado, y presentado a la opinión pública como podría parecer con las revistas y los libros de texto, sino que es un proceso en elaboración más que un producto finalizado. Y ahí están colgados todos los artículos para que cualquiera pueda ver el proceso y en muchos casos, por ejemplo en uno que yo he estudiado de un artículo que se publicó en *Nature* y que después fue rebatido por otros, seguir su ascenso y caída.

¿De qué iba el artículo?

Iba de cuántica contrafáctica. Eran unos tipos de la Universidad de Illinois que publicaron un artículo en el cual intentaban demostrar experimentalmente que eran capaces de construir un ordenador cuántico que realizara un cómputo sin realizar la computación... Es como conocer el resultado de un algoritmo que está en un ordenador sin hacerle funcionar, sin que pase la electricidad por el ordenador. Hay dos caminos y la electricidad pasa sólo por uno. Se puede construir el experimento de tal forma que los fotones (en este caso eran fotones y no electrones) pasen por el otro circuito y sin embargo, según el resultado que den, según donde hagan "click" en los dispositivos finales, saber cuál era el resultado del algoritmo. Por eso lo llamaban computación cuántica contrafáctica o, como ellos mismos lo llamaron, interrogación cuántica. Es decir, interrogar al ordenador sin hacer pasar por él ningún tipo de energía. Todavía no saben muy bien cómo se produce esto, los mecanismos exactos, pero los físicos sí saben hacerlo. El debate estaba en si se podía saber así un valor o más de un valor, y ellos decían que podían conocer hasta cuatro y que eran capaces de demostrarlo experimentalmente. Sin embargo, un israelí llamado Lev Vaidman, seguramente el mayor experto en computación contrafáctica, argumentó en un *preprint* colgado en ArXiv y rebatió esas conclusiones publicadas en *Nature*. Al final, la conclusión de que no se podía conocer contrafácticamente más de un valor se publicó en *Physical Review Letters*, pero todo el debate no se publicó en ningún sitio más que en ArXiv, donde se puede seguir todo el proceso.

Antes hablabas de que ArXiv está abierto a periodistas y otros agentes de la ciencia. ¿Cómo está regulado esto? ¿Son accesibles los artículos de ArXiv a cualquiera?

Se pueden ver de forma gratuita las diferentes versiones y también saber si el artículo fue finalmente publicado por una revista, que es el único marchamo de calidad que puede tener un periodista o un ciudadano de a pie.

¿No hay otro mecanismo?

Bueno, podría haber otro mecanismo un poco más sofisticado, como es ver cuántos artículos han citado ese, que es un sistema que ya existe en otras bases de datos de este estilo. En este caso puedes ver lo que suelen ser las referencias bibliográficas de un artículo ampliadas y saber qué influencia tuvo ese artículo en otros campos o en el mismo campo, es decir, qué otros artículos e investigadores lo citaron, y por tanto qué influencia, qué impacto tuvo y en qué disciplinas.

Es semejante al índice de impacto que miden otros sistemas.

Sí, solo que artículo por artículo, porque el factor de impacto lo que mide es la revista. Son las citas de la revista.

Bueno, más que índice de impacto, número de citas de un artículo.

Sí, pero aquí ampliado.

¿Funciona aquí también lo del intercambio de citas? Tú me citas, yo te cito... las citas concertadas.

Hombre, eso puede ocurrir aquí también, sí. Y la cosa es cada vez más sofisticada, porque hay una ingeniería montada sobre esto. Citas en círculos para que no se note. Hubo una polémica hace poco en la cual unos investigadores habían sido acusados de que se citaban cíclicamente y que se habían puesto de acuerdo para al final hacer un círculo en el que todos se citaban para que no se diera uno cuenta de que era una cita de ida y vuelta. En estos repositorios será más fácil detectarlo, automatizar la estrategia de búsqueda de estas cosas.

El refinamiento de los sistemas de evaluación ayuda al progreso de la ciencia.

Ayuda a una rama de los filósofos de la ciencia que pensamos que la tecnología es esencial para el avance de la ciencia y que, de hecho, el avance científico se basa en el avance tecnológico. Hay

quien dice incluso que la tecnología es antes que la ciencia y no la ciencia antes que la tecnología; que la ciencia es la aplicación de la tecnología.

Leon Lederman, Nobel de Física, dice en su libro *La partícula divina* que el experimento siempre va por delante, que tú desarrollas una tecnología que produce resultados y eso te plantea preguntas que los teóricos tienen que contestar. Pero ¿no hay más bien una dialéctica?

Está claro que hay una dialéctica. Lo que no sabemos es cuál fue el primero, el huevo o la gallina, pero está claro que hay una dialéctica de ida y vuelta; aunque todavía no sabemos muy bien cómo funciona, y creamos conceptos a partir del ensayo y error y al revés, ensayamos a partir de los conceptos que ya tenemos...

Volviendo al Congreso Bienal de la RSME, ¿qué te parecieron los matemáticos?

La verdad es que participaron y el debate fue interesante. No pensé que fuera a haber tanta gente.

¿Qué es lo que te preguntaban?

Había muchos que estaban muy preocupados por la revisión por pares y preguntaban que si eso no lo revisaba nadie qué sucedía... porque ellos están acostumbrados a la revisión por pares y hay un cierto desconocimiento e incertidumbre de hacia dónde va todo esto. Digamos que ni los que nos consideramos un poco más expertos en esto sabemos qué va a pasar o qué va a suceder. Lo que sabemos es que es un camino que no tiene vuelta atrás. Las revistas pervivirán, pero cada vez más la comunicación de la ciencia se hará en forma de *preprints* colgados de internet, y quizás haya una especie de adaptación, en la que el camino informal se mezcle de manera irremediable con el formal. Creo que hace falta un *peer review* y hay expertos, como Stevan Harnad, que dicen que ArXiv funciona porque detrás está un *peer review invisible* y que eso es lo que hace que el propio articulista se trabaje sus artículos, porque en el fondo su objetivo final es acabar publicando en una revista, aunque luego pueda haber un Perelman. Y por eso cuando uno va a publicar en abierto se cuida muy mucho de lo que va a publicar, es más crítico y hace una especie de *peer review* previo entre conocidos. De hecho, por eso ahora hay muchos casos de investigadores que no quieren que se publiquen sus tesis de hace 20 años en abierto, tal vez porque sienten vergüenza de lo que publicaron el aquel momento, cuando los textos no eran tan visibles para todos.

Esta especie de autocensura previa no es muy creíble.

Bueno, pero el prestigio está en juego y aquí no puedes hacer cosas como las que se hacían antes de republicar cambiando un poco, porque es mucho más visible. No estás a salvo de los ojos críticos, muchos y desconocidos, vigilando... Ese riesgo está ahí, no debajo de un stock de libros archivados.

Y probablemente esto se acompaña de herramientas informáticas que te permiten localizar lo que hay sobre cualquier tema inmediatamente.

Sí, una de las cosas que está desarrollando una empresa puntera llamada Common Ground Publishing, con sede en la Universidad de Illinois (que es una de las mejores del mundo en ingeniería), son modelos en los cuales a partir de un artículo dado pueden saber la estructura de ideas y de conceptos que lo configuran de forma automática. Esto se está desarrollando para un proyecto educativo, en el cual el profesor pide a los alumnos que hagan un comentario de texto de alguna idea en particular y desarrollen ideas, y luego, el programa automático corrige y compara con las idas con un modelo previo, un boceto del profesor que ha incluido las ideas y el orden. Detectar ideas y conceptos en lugar de textos permitirá también encontrar artículos republicados o plagios hechos de forma sofisticada.

Sobre el autor



Ignacio Fernández Bayo nació en Madrid el 15 de agosto de 1953. Estudió Ciencias de la Información (UCM, 1977), Geografía e Historia (UNED, 1978-83) y Geografía (UAM, 1985-87). Desde 1980 se dedica al periodismo científico y ambiental. Ha trabajado o colaborado en *Ciencia y Pensamiento* (1980-83), *Conocer* (1984-87), diario *El País* (desde 1985), *El Globo* (1987-88) y *El Nuevo de la Ciencia y la Tecnología* (1988-1989). Entre 1989 y 1995 fue responsable de ciencia, salud y medio ambiente de *Diario 16*, y de 1997 a 1998 de la revista *Manifiesto*. Ha publicado unos 3.500 artículos en unos 40 medios escritos y ha participado medio centenar de veces en programas de televisión y radio. Actualmente colabora en *Estratos*, *Técnica Industrial*, *Entre Líneas* y *Química e Industria*. Colabora desde 1993 con la editorial SM en la elaboración de unos 70 libros de texto de física, química, biología, geología, tecnología, matemáticas y ciencias sociales. Es autor del libro *La voz de la Gioconda* (Editorial Celeste, 1997) y coautor de *El futuro que viene* (Temas de Hoy, 1997). Autor de 16 capítulos de la obra *Inventos del Milenio* (*El País*, 1999), ha traducido *Big-bang* (Editorial SM, 1997) y *¿Hay vida extraterrestre?* (Editorial SM, 1998), y ha participado en otros 20 libros. Coordina desde 1998 el ciclo de divulgación científica de la Caja de Burgos, y dirige desde 2007 su Anuario de Ciencia. Ha sido asesor del CSIC para la divulgación (1998-2000), del Año Mundial de las Matemáticas (2000), y de la Comunidad de Madrid para organizar la Feria Madrid por la Ciencia (1999). Desde el año 2000 dirige la empresa Divulga, dedicada a actividades de difusión de la ciencia y el medio ambiente en todo tipo de ámbitos: libros, exposiciones, documentales, revistas, cursos y gabinetes de comunicación. Ha participado en más de 150 actos como conferenciante o ponente en mesas redondas y debates. Es vicepresidente de la Asociación Española de Comunicación Científica (antes Asociación Española de Periodismo Científico), miembro del Comité Científico del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, y vocal de la Asociación de Amigos de la Casa de las Ciencias de La Coruña. En 1989 recibió el Premio de Periodismo Científico del CSIC y la medalla de plata de este organismo; en 1993, el premio de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Madrid; en 1994, el Premio Enresa de periodismo; y en 1996, el Premio Casa de las Ciencias a la divulgación.