

La ley de Hubble–Lemaître

LA ASAMBLEA GENERAL DE LA UNIÓN ASTRONÓMICA INTERNACIONAL (IAU) DEBATE LA PROPUESTA DE CAMBIAR LA LEY DE HUBBLE, RELATIVA A LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO, POR LA LEY DE HUBBLE–LEMAÎTRE, PARA HACER JUSTICIA AL TRABAJO DE GEORGES LEMAÎTRE, UNO DE LOS PADRES DE LA COSMOLOGÍA RELATIVISTA*

Por Emilio J. Alfaro (Instituto de Astrofísica de Andalucía, IAA-CSIC)

VEAMOS, ¿QUÉ RESULTADOS CIENTÍFICOS COLOCAN A ESTE JESUITA EN EL PARNASO DE LA COSMOLOGÍA? PUES NADA MÁS Y NADA MENOS QUE LA PRIMERA PROPUESTA DE UN UNIVERSO EN EXPANSIÓN, basada tanto en resultados teóricos como observacionales; así como la primera medida publicada de la constante de Hubble¹, y el corolario de un origen temporal del universo, desde lo que él denominó el átomo primordial, y que hoy todos conocemos como el Big Bang. ¡Ah!, ¿pero el de la constante de Hubble no era Hubble? Veremos. A decir verdad, la primera solución de



Arriba, Edwin Hubble. Debajo, Georges Lemaître.

las ecuaciones de Einstein que llevaban a un universo en expansión fueron publicadas por Willem de Sitter en 1917, pero era un universo sin masa. Posteriormente, el físico ruso Aleksandr

A. Friedman publicó, en 1922 y 1924, sendos trabajos en la revista alemana *Zeitschrift für Physik* donde resolvía las ecuaciones de Einstein para diferentes condiciones iniciales, una de las cuales

* En 2016, con motivo del cuadragésimo aniversario del fallecimiento de George Lemaître y de la aparición del libro *Tras el Big Bang: Del origen al final del Universo*, escrito por Alberto Fernández Soto (Observatorio Astronómico, Universidad de Valencia), publiqué sendos artículos sobre la aportación de monseñor Lemaître a la cosmología relativista, en la página web de la Fundación Descubre dedicada a la astronomía *elseptimo cielo*. La Asamblea General de la IAU, celebrada en Viena el pasado agosto, puso sobre la mesa el posible cambio de nombre de la ley de Hubble a ley de Hubble-Lemaître. Con tal motivo, Silbia López de Lacalle sugirió la conveniencia y oportunidad de reproducir ambos artículos (reconvertidos a uno) a la vez que se daba la noticia en la revista IAA. Acepté encantado, sobre todo porque Silbia ha realizado todo el trabajo de síntesis.

1. Entonces obviamente no se denominaba así, pero medía exactamente lo mismo: la relación entre la variación temporal del radio respecto al radio en el universo. Las unidades son (km/s)/Mpc, donde Mpc es un megapársec, es decir, un millón de pársecs (un pársec equivale a 3.26 años luz).

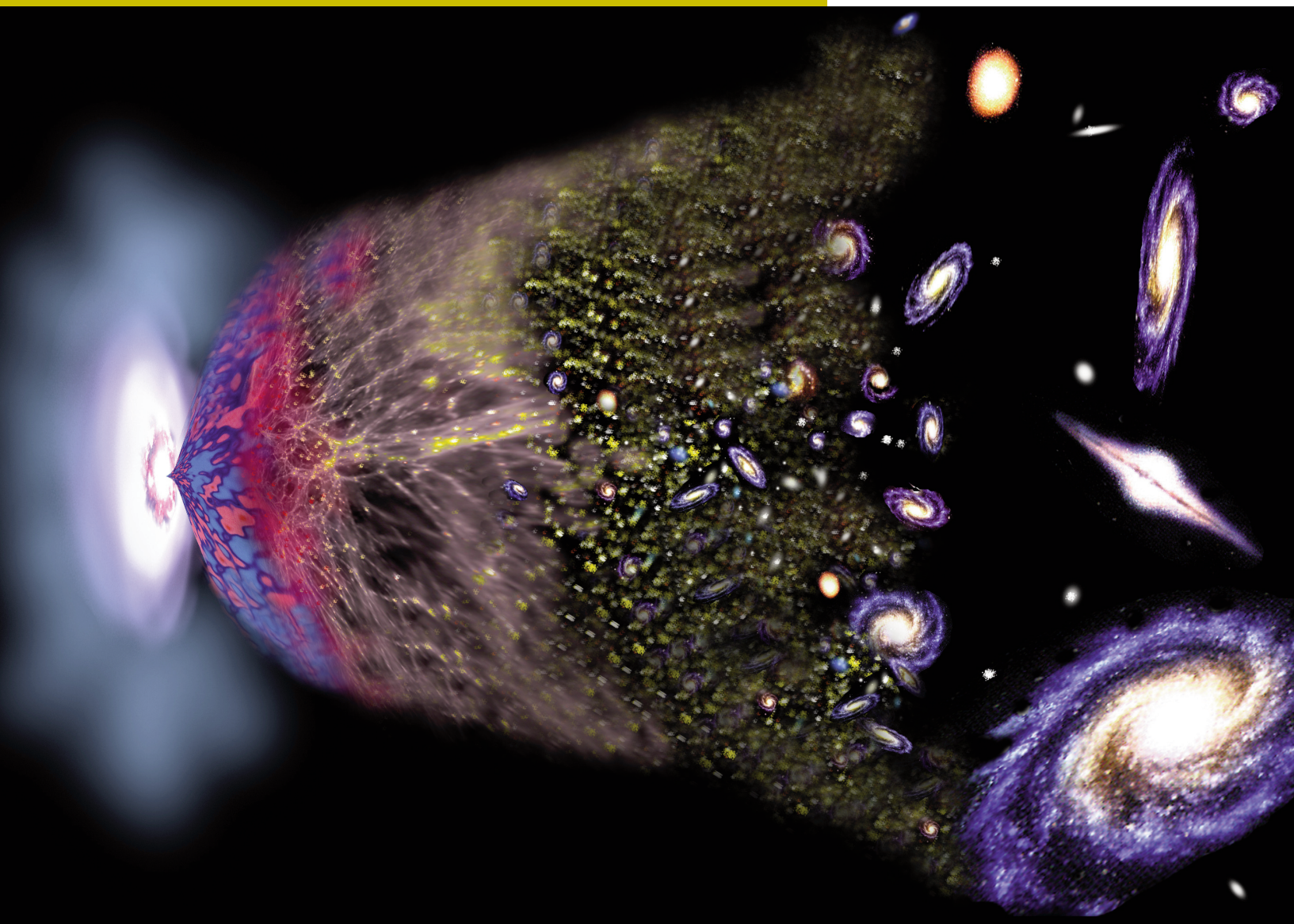


Ilustración de la historia del universo, desde el Big Bang a la época actual.

conducía a la expansión del espacio. Varias causas llevaron a que estos resultados no tuvieran el impacto que se merecían: entre otras, el rechazo visceral de Einstein a un universo en expansión, y la temprana muerte de Friedman a los treinta y siete años, solo un año después de la publicación de 1924. Alguien tomó el relevo.

Lemaître: astronomía y relatividad

Lemaître estudió física y matemáticas en la Universidad Católica de Lovaina, y posteriormente se ordenó sacerdote en 1923. Ese año recibió varias buenas noticias, ya que le fueron concedidas dos becas, una del gobierno belga y otra de una fundación norteamericana, y fue admitido como investigador en astronomía en la Universidad de Cambridge (Inglaterra). Allí conoció a Eddington, a la sazón director del departamento de astronomía, con quien compartió trabajo

Lemaître lleva el método científico a su plena realización y, además, establece el corolario lógico de que tuvo que haber un origen temporal donde el espaciotiempo fuera solo un punto matemático, una fértil singularidad

y amistad. Sus estudios empezaron a aunar astronomía y relatividad, un tema muy querido por su mentor, quien, por así decirlo, fue pionero de esta disciplina: no olvidemos que fue Eddington quien utilizó el eclipse solar de 1919 para comprobar que la luz se curvaba en las cercanías de una estrella (el Sol en este caso), como predecía la teoría de la Relatividad General publicada en 1915. Al año siguiente Lemaître se trasladó a

Cambridge (Massachusetts) donde se introdujo aún más en la astronomía observacional, y conoció de primera mano los trabajos de Shapley acerca del tamaño de nuestra Galaxia y las primeras medidas de velocidades radiales de nebulosas espirales no galácticas obtenidas por Slipher y Strömberg que mostraban un corrimiento al rojo sistemático: todas se alejaban de nosotros. De vuelta a Bruselas, Lemaître acometía la resolución de las ecuaciones de la Relatividad General para un universo con masa (en oposición a de Sitter) y sin la introducción de una constante cosmológica *ad hoc* que necesariamente aboque a un universo estacionario (la solución de Einstein). Así llega a la solución de una expansión cósmica con una métrica bien definida, que hoy recibe el nombre de métrica de Friedman-Robertson-Walker-Lemaître en su forma extendida, o cualquier otra posible combinación de uno, dos, o tres elementos de la misma con permutaciones, dependiendo de quién la cite. Pero lo interesante de este artículo no es solo la solución teórica y el establecimiento de la métrica, que ya había sido propuesta anteriormente por

Friedman, sino que compara su modelo con la realidad física, busca las mejores observaciones disponibles y establece la relación empírica entre velocidad a lo largo de la línea de visión y distancia para medio centenar de galaxias, con el objetivo de mostrar que su solución teórica tiene una contrapartida observable en el cosmos. Lleva el método científico a su plena realización y, además, establece el corolario lógico de que tuvo que haber un origen temporal donde el espaciotiempo fuera solo un punto matemático, una fértil singularidad, un huevo cósmico de dimensión cero. En la introducción a su publicación, que él llama Generalidades, se puede leer, "... parece deseable encontrar una solución intermedia [entre la de de Sitter y la de Einstein] que combinara las ventajas de ambas". Así lo hizo y, además, estimó por primera vez un valor de la constante de Hubble (H) de 575 (km/s)/Mpc.

Dos artículos de distinto calado

Este artículo fue publicado en 1927 en los *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, escrito en francés y sin ninguna referencia al trabajo de Friedman. Dos años más tarde, Hubble publica su célebre trabajo en los Anales de la Academia Nacional de Ciencia de Norteamérica (PNAS en sus siglas inglesas), donde determina un valor de $H=500$ (km/s)/Mpc. No referencia el trabajo de Friedman ni el de Lemaître y la única alusión a las soluciones de la ecuación de Einstein se limita al universo de de Sitter². Solo al final, y levemente, postula una posible explicación cosmológica a la relación que había encontrado: "El hecho asombroso es, sin embargo, la posibilidad de que la relación entre velocidad y distancia pueda representar el efecto de de Sitter y que a partir de ahora podamos discutir con datos numéricos sobre la curvatura general del espacio".

¿Qué diferencias hay entre ambos artículos? Dos bien claras: el trabajo de Hubble es la obra de un astrónomo centrado en la observación y la experimentación, cuya principal preocupación es realizar un análisis adecuado de la correlación observada. Para ello utiliza diferentes modelos de ajuste y distintas técnicas estadísticas que le permiten evaluar la bondad del mismo y la incertidumbre de los parámetros observados,

2. Recordemos que esta solución requiere la hipótesis de un universo sin masa, un universo realmente pobre.

RESOLUCIÓN B4, propuesta por el Comité Ejecutivo de la IAU UNA REPARACIÓN HISTÓRICA



La XXX Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional, considerando:

1. Que el descubrimiento de la aparente recesión de las galaxias, generalmente conocida como la "ley de Hubble", es uno de los principales hitos en el desarrollo de la astronomía durante los últimos cien años y puede considerarse uno de los pilares fundadores de la cosmología moderna;
2. Que el astrónomo belga Georges Lemaître publicó (en francés) en 1927 el artículo titulado *Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques*, en el que redescubre la solución dinámica de Friedman a las ecuaciones de relatividad general de Einstein que describe un universo en expansión. También deriva que la expansión del universo implica que los espectros de las galaxias distantes se desplazan hacia el rojo en una cantidad proporcional a su distancia. Finalmente, utiliza datos publicados sobre las velocidades y distancias fotométricas de las galaxias para derivar la tasa de expansión del universo (asumiendo la relación lineal que había encontrado en los fundamentos teóricos);
3. Que, en el momento de la publicación, la popularidad limitada de la revista en la que apareció el artículo de Lemaître y el idioma utilizado provocó que su notable descubrimiento pasara desapercibido para la comunidad astronómica;
4. Que Georges Lemaître y el astrónomo estadounidense Edwin Hubble asistieron a la tercera Asamblea General de la IAU en Leiden en julio de 1928 e intercambiaron opiniones sobre la relevancia, en el marco del modelo evolutivo emergente del universo, del desplazamiento hacia el rojo frente a la distancia en los datos observacionales de las nebulosas extragalácticas;

5. Que Edwin Hubble publicó, en 1929, el documento titulado *A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae*, en el que propuso y derivó la relación lineal distancia-velocidad para las galaxias; en su artículo de 1931 en colaboración con Humanson incluyó nuevos datos de velocidad y, poco después de la publicación de sus artículos, la expansión del universo comenzó a conocerse como la "ley de Hubble";

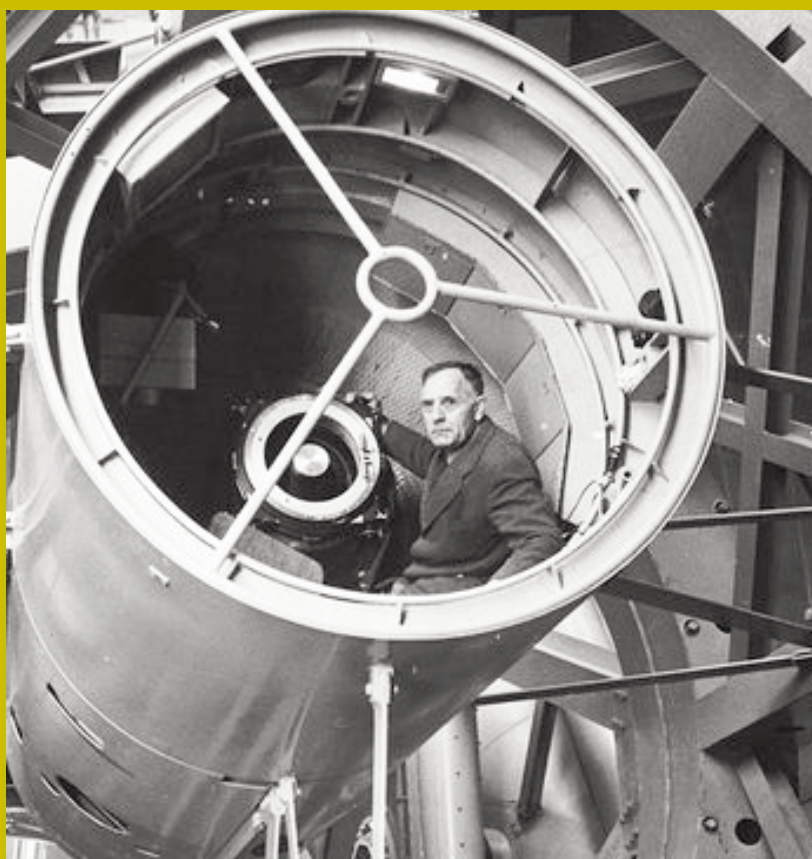
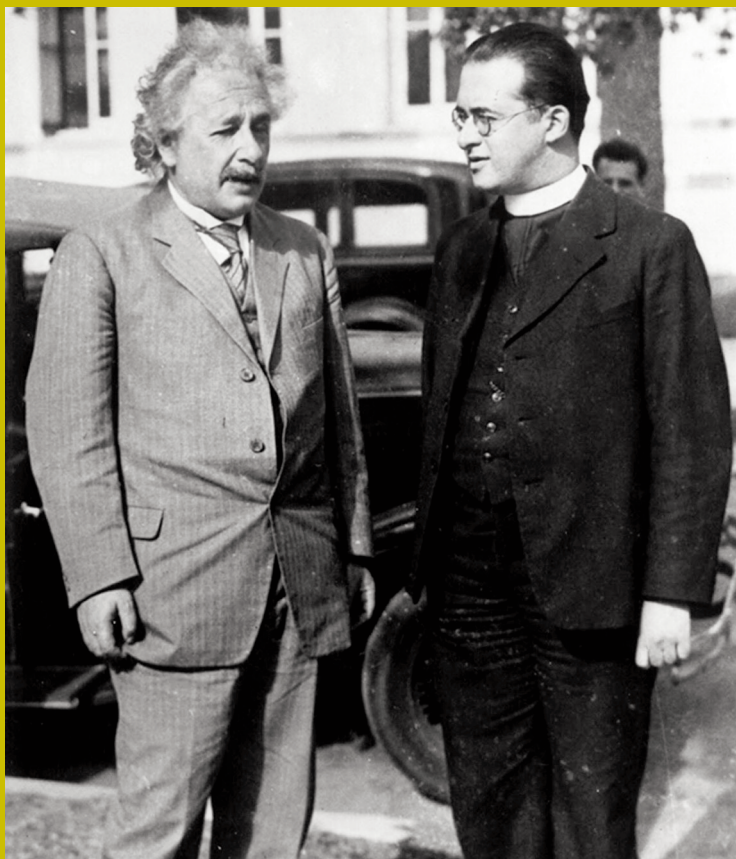
6. Que, en 1931, por invitación de la revista *Journal Monthly Notices del Royal Astronomical Society*, Georges Lemaître tradujo en inglés su artículo original de 1927, omitiendo deliberadamente la sección en la que obtenía la tasa de expansión, porque no encontró "recomendable reimprimir la [su] discusión provisional sobre las velocidades radiales, que carece de interés real, y también la nota geométrica, que podría ser reemplazada por una pequeña bibliografía de trabajos antiguos y nuevos sobre el tema";

deseando

7. Para rendir homenaje a Georges Lemaître y Edwin Hubble por sus fundamentales contribuciones al desarrollo de la cosmología moderna;
8. Honrar la integridad intelectual de Georges Lemaître, que le impulsó a valorar más el progreso de la ciencia que su propia visibilidad;
9. Destacar el papel de las Asambleas Generales de la IAU en el fomento de los intercambios de puntos de vista y discusiones internacionales;
10. Informar los discursos científicos futuros con hechos históricos;

resuelve

11. recomendar que a partir de ahora la ley de la expansión del universo se denomine Ley de Hubble-Lemaître.



Sobre estas líneas, Lemaître con Einstein. A la derecha, Edwin Hubble en el telescopio de Monte Palomar (fuente: Ned/Steer/Huchra/Riess; NASA/ESA).

pero una vez obtenidos estos no parece saber muy bien qué hacer con ellos. De hecho, a la interpretación de los resultados le dedica unas pocas líneas³, mientras que Lemaître desarrolla un programa científico completo. Plantea el problema teórico y sus implicaciones cosmológicas, encuentra la solución más adecuada para un universo con masa, y busca las observaciones astronómicas que pueden permitirle falsar sus predicciones. Tanto los aspectos empíricos como teóricos en el trabajo de Lemaître tienen una gran consistencia interna y una excelente escritura, y su artículo es un ejemplo de lo que podemos llamar literatura científica, si esto existiera. Por otro lado, el diferente valor de la constante de proporcionalidad encontrada por ambos autores proviene principalmente de las diferentes fuentes usadas para la variable distancia. En ambos casos provienen de trabajos de Hubble, pero las distancias utilizadas por monseñor están basadas en un paralaje fotométrico considerando que todas las galaxias tienen el mismo brillo intrínseco, mientras que en el trabajo de Hubble se introducen las distancias derivadas a partir de la relación período-luminosidad de las estrellas

Tanto los aspectos empíricos como teóricos en el trabajo de Lemaître tienen una gran consistencia interna y una excelente escritura; su artículo es un ejemplo de lo que podemos llamar literatura científica, si esto existiera

cefeidas, más representativas de la realidad física.

Uno puede pensar que Hubble nunca leyó un artículo que apareció en una publicación nacional belga de escasa tirada y escrita en francés. No olvidemos que Hubble era norteamericano, antónimo de políglota. Pero tampoco debemos olvidar que Lemaître no era ningún desconocido en la astronomía norteamericana. Pasó más de un año allí y tuvo contactos con lo más granado de los observadores astronómicos de ambas costas, era discípulo de Eddington y cuando publicó su artículo se lo envió a Einstein, que consideró que el autor era un excelente matemático pero sin mucho

fundamento físico. Lemaître estaba en la pomada de la física y la astronomía de su tiempo. El que quizás en ese momento no estaba en el cogollo de la élite mundial era Hubble, excelente observador con un excelente telescopio, pero lejos de la revolución de la física que estaba teniendo lugar en Europa, aunque sus precisas y abundantes observaciones contribuyeran de una manera decisiva al advenimiento de la edad de oro de la astronomía del siglo XX. Está claro que Lemaître fue el primero en medir e interpretar correctamente la denominada ley de Hubble. Puede que Hubble hiciera trampa o que no, pero después de que el trabajo de Lemaître fuera de dominio público quienes no debemos hacer trampa somos nosotros y darle al César lo que es del César, y a monseñor lo que es de monseñor. La asamblea de la Unión Astronómica Internacional acordó que la propuesta para cambiar el nombre a la ley de la expansión del universo se votaría electrónicamente a finales de este año, de manera que se garantice la más amplia participación en la decisión. Mientras tanto, en honor a Lemaître, he comenzado a llamar a H la constante de Monseñor.

3. "Por esta razón, se considera prematuro discutir en detalle las consecuencias obvias de los resultados actuales. Por ejemplo, si el movimiento solar con respecto a los cúmulos representa la rotación del sistema galáctico, este movimiento podría restarse de los resultados de las nebulosas y el resto representaría el movimiento del sistema galáctico con respecto a las nebulosas extra-galácticas. Sin embargo, la característica sobresaliente es la posibilidad de que la relación de distancia-velocidad pueda representar el efecto de Sitter y, por lo tanto, que los datos numéricos se puedan introducir en las discusiones sobre la curvatura general del espacio. En la cosmología de de Sitter, los desplazamientos de los espectros surgen de dos fuentes, una aparente ralentización de las vibraciones atómicas y una tendencia general de dispersión de partículas materiales".