



# Últimas noticias de la **oscuridad**

“Vivo entre formas luminosas y vagas que no son aún la tiniebla”, decía Borges en el poema *Elogio de la sombra*. Quizás podría decirse que muchos astrofísicos modernos también viven así. La fantasmagórica materia oscura y la más que evidente energía oscura, los desvela. En la nota, ¿qué cosas sabemos hoy de estas oscuridades cosmológicas? ¿Sabemos?

Guillermo Mattei / gmattei@df.uba.ar

En el siglo XIX, los astrónomos adjudicaron la desviación en la órbita observada de Urano a la influencia gravitatoria de una entidad invisible, desconocida y ubicada más lejos que ese planeta del sistema solar. Más tarde, mejores telescopios mediante, esa entidad resultó ser el planeta Neptuno. Hoy, de la observación precisa de los movimientos de estrellas y galaxias, los astrónomos deducen la presencia predominante en el Universo todo de alguna entidad invisible que no emite luz, ni calor infrarrojo, ni ondas de radio, ni ningún tipo de radiación; sino que sólo ejerce influencia gravitatoria sobre aquellas. Pero, a diferencia de Neptuno, esa entidad aún hoy no está identificada; para los astrónomos es, simplemente, *materia oscura*.

Desde 1998 los astrónomos saben muy bien, midiendo ciertas características de las explosiones de estrellas supernovas lejanas, que el universo se expande aceleradamente. La gravedad, que

podría volver a reconcentrar en un futuro lejano a toda la materia, hoy está perdiendo –en los confines del universo– una pulseada frente a un contrincante desconocido: *la energía oscura*.

## El empuje invisible

Los planetas del sistema solar sienten una gran fuerza gravitatoria que el Sol ejerce sobre ellos. Sin embargo, esta fuerza está balanceada por el movimiento orbital que evita la caída directa en beneficio de la armoniosa estabilidad de la traslación. De manera similar, en una galaxia como la Vía Láctea, con billones de estrellas, existe un equilibrio entre la gravedad, que tiende a colapsar todo, y los efectos del movimiento que tienden a dispersarlas si la gravedad no existiera. La boleadora giraba mientras el aonikenk sujetaba la cuerda pero, cuando la soltaba, la piedra se disparaba en la dirección de la última velocidad orbital directo a la presa. Si los astrónomos sospechan que hay una materia oscura es porque los movimientos son

sorprendentemente rápidos para estar equilibrados sólo por la gravedad de las estrellas y el gas interestelar que observan.

Hoy los científicos conocen tanto la velocidad con la que el Sol orbita el centro de la Vía Láctea como la de otras estrellas en galaxias externas. Sobretodo conocen que las velocidades de las estrellas más exteriores, las que giran por fuera de todo el enjambre, son ridículamente altas. Estas estrellas no podrían mantenerse en órbitas estables, considerando sólo los tirones gravitatorios de la masa observada. Si Plutón, en lugar de moverse a una velocidad orbital de cinco kilómetros cada segundo se moviera, como la Tierra, a casi treinta y permaneciera en órbita, los astrónomos deberían suponer que existe una capa invisible de una gran masa exterior a la órbita de la Tierra pero interior a la de Plutón.

Si las galaxias no albergaran una gran cantidad de materia oscura, como una argamasa invisible, no serían estables



NASA/JPL-Caltech

Según los científicos, si las galaxias no albergaran una gran cantidad de materia oscura, como una argamasa invisible, no serían estables y se desmembrarían.

y se desmembrarían. De hecho, las galaxias lucen diez veces más pesadas de lo que los astrónomos pueden estimar con los conocimientos actuales.

Un aspecto no menor en esta historia es la hipótesis, que los astrónomos todavía no están dispuestos a abandonar, de que las leyes de la gravitación tienen un alcance que excede al sistema solar y valen de la misma manera en cada rincón del universo. Sin embargo, hay evidencias de que, a escalas de todo el universo, la gravedad está superada por otra fuerza que repele la materia en lugar de atraerla. Luego, tarde o temprano, la posibilidad de cuestionar la validez del concepto de gravedad sobrevuela a todo astrónomo que se precie.

Toda materia con propiedades gravitatorias, tanto la conocida como la oscura, desvía los rayos de luz, tal como lo predijera Einstein y midiera Arthur Eddington en 1919 durante un eclipse de Sol. Con esta propiedad física, los grandes cúmulos de galaxias pueden actuar, para la luz, como una gran lente distorsionadora. Es así como los astrónomos deducen que, para ciertas distorsiones, no es suficiente la masa visible del cúmulo sino una masa diez veces superior.

## Los oscuros sospechosos de siempre

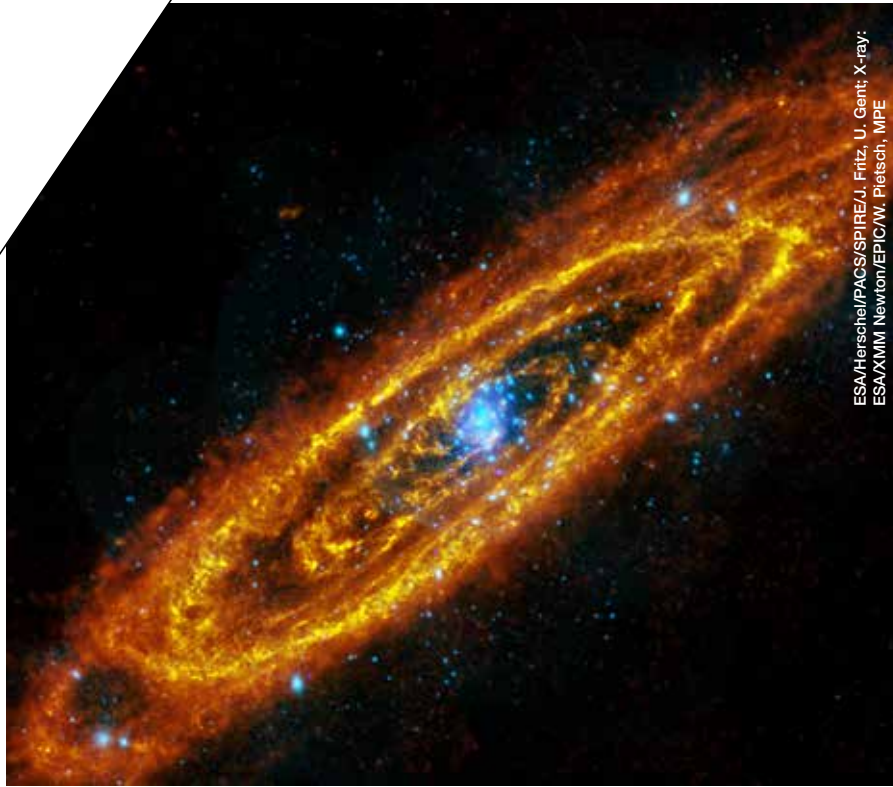
El polvo cósmico, las enanas marrones, los planetas fríos, el hidrógeno congelado o los agujeros negros sólo podrían ser una parte de la materia oscura pero los astrónomos conjeturan que el resto no se trata de átomos ordinarios. Por consideraciones de la abundancia relativa de hidrógeno y deuterio en el universo actual y su génesis en el Big Bang, esa materia desconocida es inerte frente a las reacciones nucleares. Los neutrinos, que atraviesan la materia sin perturbarse, podrían ser una opción posible para satisfacer esta condición si tuvieran la masa adecuada, cosa que no se ha dilucidado aún. El Big Bang pudo haber dado lugar a otras partículas similares al neutrino pero, si predominaran, deberían ser detectadas en la dinámica galáctica. Probablemente la materia oscura esté formada por un cóctel no detectado de entidades. Otra posibilidad es que la materia oscura esté formada por partículas, no solo no detectadas, sino *exóticas*; es decir, de naturaleza absolutamente desconocida para el hombre. El rango de valores de las masas de los candidatos a materia oscura va desde una que resulta de dividir un gramo por un uno acompañado de treinta y

tres ceros, como la del neutrino, hasta otra que resulta de multiplicar un gramo por un uno con treinta y nueve ceros, como la de los agujeros negros.

En su libro *Seis números nada más*, el astrofísico británico Martin Rees, uno de los mejores científicos-divulgadores de la actualidad, decía sobre la materia oscura en 2001: “Yo estoy convencido que de que si estuviera escribiendo esto dentro de cinco años, podría decir de qué está compuesta la materia oscura”. No Martin, los físicos hoy, en 2015, siguen escrutando al neutrino, tratando de entender la física de altas energías y densidades, investigando los orígenes de partículas que pudieron haber acompañado el Big Bang y la génesis y evolución de las galaxias. Bajo tierra, en el LHC, con telescopios –tanto terrestres como orbitales–, sondas, supercomputadoras y mucha teoría, la búsqueda de respuestas a tanta oscuridad no cesa.

## La quintaesencia

Por su parte, los especialistas califican a la enigmática repulsión generalizada que se observa a escala cosmológica, incluso en el vacío y a pesar de la masa total de la desconocida materia oscura,



con los sugerentes nombres de *energía oscura* o *quintaesencia*.

Las mediciones del brillo de las explosiones de estrellas supernovas lejanas son su principal evidencia. Si bien esta evaluación observacional tiene puntos discutibles, el conocimiento que los astrónomos extraen del Fondo Cósmico de Radiación (FCR) también ratifica: el Universo se expande aceleradamente. A grandes escalas cosmológicas, la densidad es tan baja que la gravedad no predomina y esta misteriosa fuerza quintaesencial es la que comanda la expansión. El por qué este balance tan particular entre gravedad y repulsión garantiza la presencia actual de estructuras en el cosmos –y de la vida humana en la Tierra– mientras cualquier otro balance implicaría un universo radicalmente diferente, es la pregunta del millón.

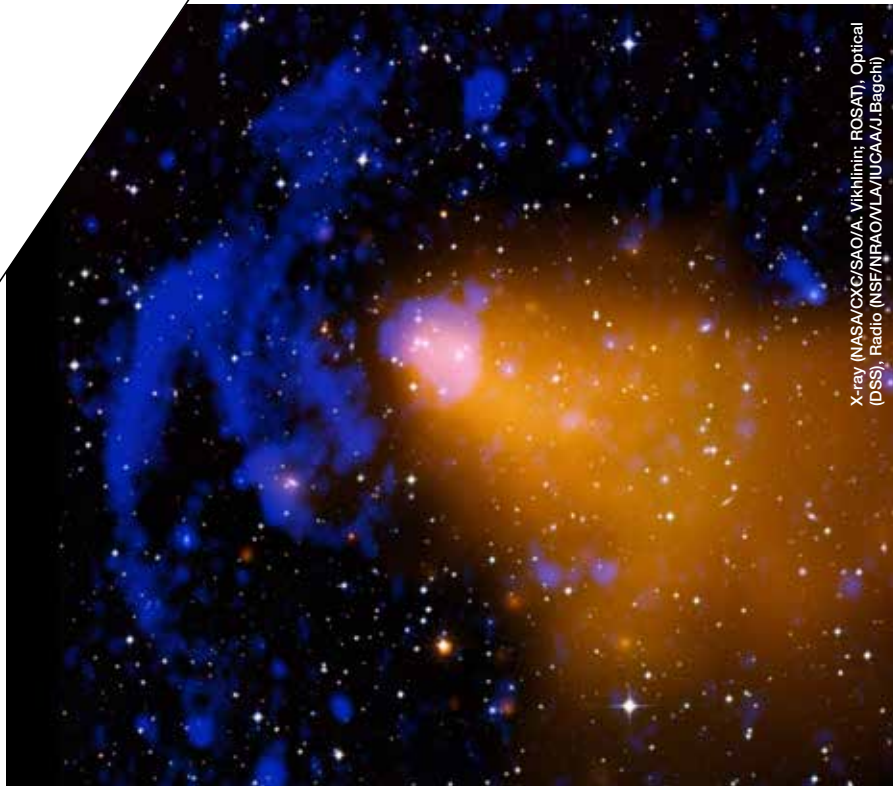
De todas maneras, lo que los astrónomos observan hoy se puede sintetizar con palabras de Martin Rees: “nuestro espacio extragaláctico se irá vaciando de manera exponencial al avanzar la eternidad”.

### La oscuridad hoy

Susana Landau es astrofísica del departamento de Física de Exactas-UBA y especialista, entre otros temas astrofísicos, en oscuras materias y energías. “Tanto la materia como la energía oscura son postulados *ad hoc* que debemos agregar a la teoría de la Relatividad General junto a la hipótesis que, a grandísimas distancias, el espacio es homogéneo y con direcciones equivalentes cualesquiera sean éstas en las que miremos. O sea, el modelo cosmológico estándar actual. Sin embargo, para explicar los efectos atribuidos a ambas entidades existen alternativas a estas postulaciones que son las denominadas *teorías de gravedad modificada*. Correcciones a la relatividad general, y en consecuencia a la mecánica newtoniana, que prescinden de la materia o de la energía oscuras o de ambas”, explica Landau. El desafío de este tipo de modelos alternativos es modificar la gravedad a escalas de cúmulos de galaxias y mayores para explicar la aceleración de la expansión del Universo, pero manteniendo una descripción newtoniana a nivel del Sistema Solar.

Entre las distintas propuestas alternativas, algunas prescinden solamente de la materia oscura, tal como como la llamada MOND (por sus siglas en inglés Modified Newtonian Dynamics) que data de 1981. En 2004, el famoso astrofísico Jacob Bekenstein propuso una versión relativista de MOND, denominada TeVeS (por sus siglas en inglés Tensor–vector–scalar gravity). “El problema de estas teorías es que no pueden dar cuenta de las características observadas por los llamados censos de galaxias, como por ejemplo el Sloan Digital Sky Survey (SDSS), de las estructuras a grandes escalas cosmológicas.”, aclara Landau. Otra propuesta alternativa más reciente –data de 2005– que prescinde de la energía oscura además puede explicar los datos del FCR pero aún no se ha confrontado con los datos obtenidos en censos de galaxias. En resumen, este tipo de teorías son eficientes en la corta escala para explicar las curvas de rotación de las galaxias pero no se ha podido confirmar su eficacia en las grandes distancias. Otra familia de teorías de gravitación alternativas a la Relatividad General, que no necesitan ni materia ni energía oscura, llamadas  $f(R)$  (*efe de erre* en la jerga), pueden explicar los fenómenos a grandes escalas si bien tienen problemas con los tests que se realizan en el sistema solar.

“Para poder entender de qué se trata la energía oscura hay que pensar en lo que nosotros, las y los físicos, llamamos *ecuación de estado*”, propone Landau, y amplía: “si comprimimos con un pistón un gas de materia común encerrado en un recipiente, éste nos ofrecerá una resistencia o fuerza contraria a la compresión de acuerdo a una relación entre las magnitudes termodinámicas involucradas o ecuación de estado. Pero, si lo llenamos con energía oscura sabemos que el pistón será chupado o, más técnicamente, algo así como que la energía oscura tiene presión negativa”. ¿Qué nuevas partículas puede haber involucradas en esta curiosa interacción? Landau detalla: “los físicos de partículas trabajan mucho proponiendo candidatas a partir de experimentos y observaciones con el objetivo de precisar esta ecuación de estado”. Es más, una de las propuestas es que la



X-ray (NASA/CXC/SAO/A. Vikhlinin; ROSAT), Optical (DSS), Radio (NSF/NRAO/LSA/JCAA/J. Bagchi)

ecuación de estado no sea fija sino variable con la evolución del universo. Son teorías de muy reciente producción que funcionan bien, complejos testeos computacionales mediante, salvo en las escalas solares.

Uno de los pilares del análisis de la energía oscura son las medidas del brillo de las denominadas estrellas supernovas a *alto corrimiento al rojo* –alejadas y aceleradas–, medida ésta que se calibra con las de bajo corrimiento al rojo –cercanas y menos aceleradas–. “Lo que no ha sido suficientemente difundido en los medios es que los equipos merecedores del premio Nobel 2006 pudieron obtener los resultados sorprendentes por los que fueron premiados en gran parte gracias a los datos obtenidos previamente de supernovas cercanas. Nunca lo hubieran logrado sin la calibración proveniente del equipo que midió las segundas”. El primer equipo era del hemisferio norte y el segundo de un observatorio de Chile: quizás ahí esté la razón de la miopía del comité Nobel.

“En mi grupo de investigación trabajamos con dos familias de modelos alternativos al modelo cosmológico estándar

y los testeamos con datos actuales del FCR. Por un lado, estudiamos modelos que describen los primeros microsegundos del universo inflacionario, donde la expansión –al igual que en la actualidad– está acelerada. Por otro lado, abordamos modelos cosmológicos alternativos basados en suponer que la energía oscura es la explicación para la expansión acelerada actual del universo”, detalla Landau.

### Inventario cósmico

Si de censar hablamos, por ejemplo, setenta mil fueron las galaxias analizadas en 2010 por especialistas de la Universidad de California en Berkeley, de la Universidad de Zurich y de la Universidad de Princeton, para demostrar que el universo, al menos hasta una distancia de tres mil quinientos millones de años luz de la Tierra, es coherente con la Relatividad General de Einstein. O sea, el bando de los que no van por la senda de modificar la relatividad general. Calculando el arrancamiento de esas galaxias, que se despliegan a un tercio del camino al borde del universo, analizando sus velocidades y midiendo la distorsión

luminosa provocada por su material, los investigadores aseguraron que las teorías de Einstein explican mejor el universo cercano que las teorías alternativas de la gravedad.

“Lo mejor de considerar la escala cosmológica es que podemos testear cualquier teoría alternativa de la gravedad porque debe predecir las cosas que observamos”, dijo Uros Seljak, de Berkeley y agregó: “algunas teorías alternativas, es decir, que no requieren materia oscura, no pasaron la prueba en el universo temprano, de entre cinco y dos mil millones de años de edad, donde suponían que había desviaciones de la descripción que de la gravedad hace la relatividad general”. Si bien la relatividad general salió airosa en numerosas interpretaciones en la escala del sistema solar, algunos tests realizados sobre escalas galácticas comienzan a dar sus frutos: en enero de 2015, Seljak y colaboradores lograron explicar, para escalas mayores a racimos de galaxias, la distribución y evolución de la materia oscura basándose en consideraciones relativistas denominadas *fuerzas de marea gravitacionales*.

De todas maneras, si bien los tests son mecanismos muy poderosos para contrastar teorías y observaciones, no les permiten a los astrónomos develar la verdadera identidad de la materia y la energía oscuras, cosa que debería ocurrir por experimentos de detección directa.

### Luces y sombras

Tanto la estrategia de postular nuevas entidades como la de modificar las teorías de gravedad tienen luces y sombras, éxitos y fracasos, complementariedades y contradicciones, coincidencias y diferencias con las observaciones; en suma: escenas con alto contenido de ciencia explícita.

“Al fin voy a recuperar la oscuridad”, decía Borges inquirido por su propia muerte. “Llego a mi centro, a mi álgebra y mi clave, a mi espejo. Pronto sabré quién soy.”, escribía en *Elogio de la sombra*. Quizás, pronto, los astrofísicos también sepan algo más de las oscuridades del universo. /