

CLASH: Una mirada con el Hubble al lado oscuro del Universo

LA COSMOLOGÍA SE ENCUENTRA ANTE DOS PROBLEMAS FASCINANTES: LA MATERIA Y LA ENERGÍA OSCURAS. EL PROYECTO CLASH BUSCA APORTAR LUZ SOBRE AMBAS CUESTIONES CON EL EMPLEO DEL TELESCOPIO ESPACIAL HUBBLE.

Por Txitxo BENITEZ (IAA_CSIC)

EN MAYO DE 2009 SE LLEVÓ A CABO LA ÚLTIMA MISIÓN DE LA NASA PARA REPARAR y poner al día la instrumentación de Telescopio Espacial Hubble. A pesar de contar con herramientas que parecían un sueño hace veinte años, cuando el telescopio comenzó a funcionar, la comunidad astronómica era consciente de que, tras el retiro del transbordador espacial, los días del Hubble estaban contados; antes o después, alguna avería imposible de reparar telemáticamente o de superar usando las redundancias del sistema supondrá el fin del uso del telescopio para los astrónomos.

Por ese motivo, en agosto de 2009 la NASA y la ESA pidieron a los astrónomos que enviaran propuestas de observación para el Hubble que permitieran aprovechar al máximo el potencial científico del telescopio, con un énfasis especial en grandes proyectos de tipo "legado", que no solo representaran un avance claro en alguna de las cuestiones científicas más importantes, sino que además proporcionaran grandes conjuntos de datos que siguieran siendo útiles, por su versatilidad, para la mayor cantidad posible de áreas astronómicas incluso décadas después de ser obtenidos.

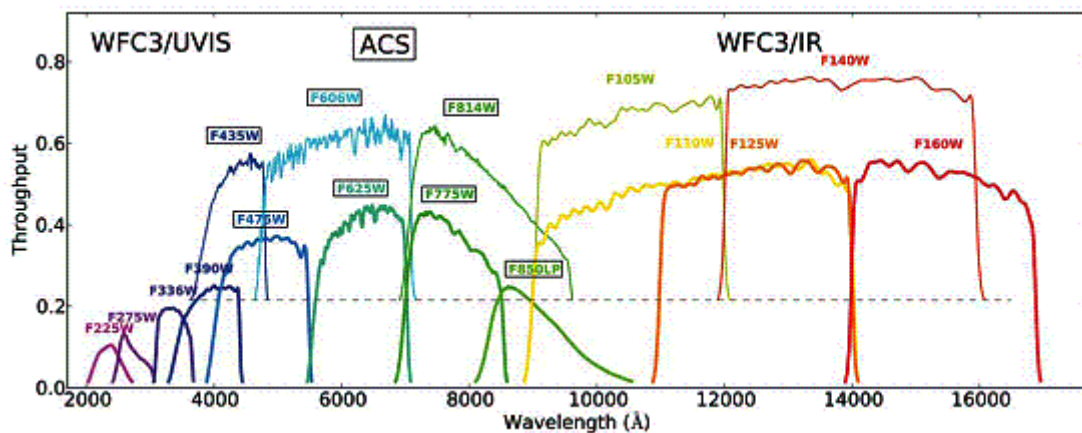
Se ofertaron dos mil doscientas órbitas (cinco meses) del tiempo del Hubble para este propósito. Los astrónomos se organizaron en grandes equipos científicos y enviaron treinta y nueve propuestas, de las cuales solo tres acabaron siendo seleccionadas: CLASH, liderada por Marc Postman y Adam Riess, con una presencia significativa de miembros del IAA, fue una de ellas, con un 25% del tiempo disponible. Nuestras observaciones comenzaron en noviembre de 2010 y se extenderán hasta finales del 2013

CLASH va a observar veinticinco cúmulos de galaxias, las estructuras ligadas gravitacionalmente más masivas del universo, usando dieciséis filtros diferentes - desde el ultravioleta (2200Å) hasta el infrarrojo-, aprovechando la ausencia de atmósfera y la sensibilidad de la nueva cámara del Hubble, WFC3, y del principal caballo de batalla del Hubble en los últimos años, la *Advanced Camera for Surveys*.

Los dos ejes principales de CLASH son el estudio de la materia y energía oscuras, sin duda alguna los dos problemas centrales de la cosmología actual. Vamos a detenernos un poco en comprender su importancia y relevancia.

La materia y energía oscuras

El fenómeno que conocemos como materia oscura fue descubierto en escalas cosmológicas en 1933 por un astrónomo del Caltech. Fred Zwicky observó que las galaxias que forman parte de grandes cúmulos se mueven a velocidades tan altas que dichas aglomeraciones no podrían existir sin la presencia de cantidades enormes de materia oculta (equivalente a cuatrocientas veces la masa presente en forma de estrellas) cuya atracción mantuviera la cohesión gravitatoria del conjunto y evitara que las galaxias se dispersaran.



Sistema de filtros empleado por CLASH (Postman et al. 2012)

En 1975, Vera Rubin, que trabajaba en la *Carnegie Institution* de Washington, descubrió un fenómeno similar observando las curvas de rotación de galaxias espirales: estas giraban a una velocidad mucho mayor de la esperada a partir de la cantidad de material estelar y gas que se observaba en la galaxia. Estos resultados fueron confirmados por otros investigadores y, a principios de los 80, se propuso una solución *ad hoc*, pero razonablemente satisfactoria: la materia oscura fría, una clase hipotética de partícula (u objeto astronómico) mucho más abundante que la materia bariónica ordinaria (de la que estamos hechos nosotros y las cosas que vemos a nuestro alrededor), indetectable a través de su emisión o absorción, pero que podíamos intuir e incluso medir por la atracción ejercida sobre las estrellas y el gas que observamos. Sin embargo, la acumulación de datos astronómicos durante las últimas décadas ha revelado serios problemas en esta teoría, que sigue sin embargo siendo la más aceptada por la comunidad científica a falta de mejores alternativas.

La energía oscura también tiene una larga historia. El concepto apareció por primera vez en forma de la constante cosmológica que Einstein propuso para que sus ecuaciones produjeran un modelo estático del universo. Aclarado lo innecesario de este artificio matemático por el meteorólogo soviético Fridman (lo que Einstein llamó su mayor error científico) y por la expansión del universo descubierta por Hubble, este problema pasó a un segundo plano hasta que a finales de los años 90 dos grupos liderados respectivamente por Saul Perlmutter y Brian Schmidt (después por Adam Riess) encontraron que el universo no solo se expandía, sino que esa expansión se estaba acelerando.

Es difícil sobrestimar la importancia para la física de este descubrimiento que, como es bien sabido, fue galardonado con el premio Nobel de 2011 (ver número 36, pág. 10). Cuando escribimos las ecuaciones de Einstein para la expansión del universo e introducimos una expansión con aceleración positiva nos encontramos ante tres alternativas, cualquiera de las cuales lleva implícita una revolución para la física actual.

La primera, y más simple, es la presencia de una constante cosmológica como la introducida por Einstein. Sin embargo, los cálculos teóricos, basados en la energía cuántica del vacío, predicen un valor para dicha constante ciento veinte órdenes de magnitud inferior al observado. Parece muy difícil explicar este problema dentro del marco del modelo físico estándar sin recurrir a soluciones alambicadas como el principio antrópico y los multiversos. La segunda opción reside en que exista un nuevo tipo de campo físico o partícula desconocidos hasta la fecha -ya se han propuesto multitud de opciones- que explique las observaciones. Un descubrimiento así abriría horizontes nuevos al desarrollo de la física fundamental. La tercera opción, la menos probable pero al mismo tiempo la más interesante desde el punto de vista científico, es que las ecuaciones de Einstein que describen la expansión del universo... sean incorrectas.

En este punto es donde la energía oscura conecta con el enigma de la materia oscura. Puede que nos encontremos ante dos fenómenos diferentes, independientes entre sí, pero es cuanto menos curioso que en ambos casos se trate de pruebas observacionales de la relatividad general de Einstein, en escalas y aceleraciones que están muy fuera del rango en el que se ha verificado la validez de esta teoría (por ejemplo en el Sistema Solar o en el entorno de púlsares), y que en ambos casos se necesite introducir una entidad *ad hoc* para que dicha teoría corresponda con los resultados de las observaciones. La historia de la ciencia ofrece casos como los del flogisto o el éter que nos hacen levantar un ceja y ser escépticos; pero también otros como el descubrimiento de Neptuno por Adams y Leverrier en el que la aplicación rigurosa de una teoría física llevó a nuevos logros científicos.

El papel de CLASH

Como hemos visto, la cosmología se encuentra ante dos problemas científicos fascinantes, con enorme potencial para producir nuevos descubrimientos. ¿Cómo

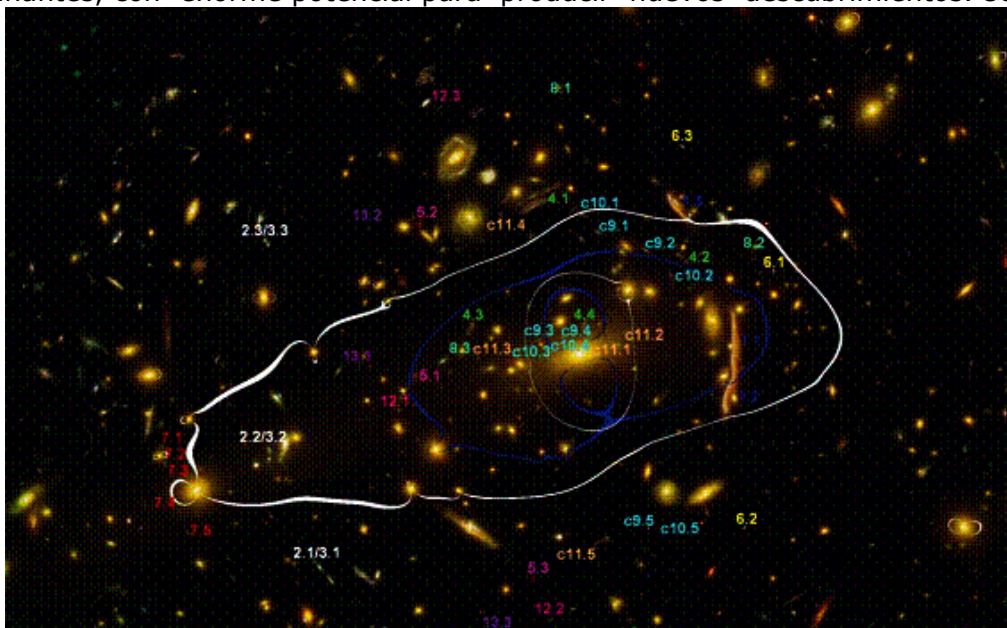


Imagen tomada por la colaboración CLASH del cúmulo de galaxias MACS1206 ($z=0.4385$), mostrando cincuenta imágenes correspondientes a doce galaxias distintas (Zitrin et al. 2012).

puede avanzar CLASH nuestra comprensión de ambas cuestiones?

La primera herramienta es el estudio, con un detalle espacial sin precedentes, de la distribución de materia oscura en los cúmulos masivos de galaxias. Una de las formas en las que se puede detectar la presencia de materia oscura es a través del efecto de lente gravitatoria. La presencia de masa deforma el espacio y cambia la trayectoria de los rayos de luz que provienen de objetos lejanos, amplificando su brillo y haciendo que adopten formas características, como arcos, anillos o incluso multiplicando sus representaciones de forma que vemos la misma galaxia en varios puntos diferentes del cielo; el análisis de las posiciones de estas imágenes múltiples nos permite reconstruir la distribución de masa de la lente que las produce (imagen superior). Restando de la masa total la masa visible contenida por galaxias y gas emisor de rayos X podemos calcular la cantidad total y distribución de la materia oscura. El factor más importante para poder llevar a cabo esta medición de manera precisa reside en conseguir observaciones muy sensibles y con un amplio rango de colores, para poder detectar un número suficiente de galaxias lejanas y además estimar su *redshift*, o corrimiento al rojo, utilizando un método conocido como *redshifts* fotométricos. CLASH lleva este procedimiento hasta nuevos niveles, observando los cúmulos de galaxias con dieciséis filtros diferentes. Esto nos va a permitir medir, con un nivel de detalle muy alto, el perfil de masa de cada uno de los veinticinco cúmulos; la combinación de todos ellos permitirá determinar la

CLASH se encuentra en el ecuador de su programa de observaciones, y entra en la fase más interesante [...] se acumulan suficientes datos como para empezar a obtener resultados fundamentales

distribución típica de masa con una precisión sin precedentes. La muestra de CLASH forma una base de datos fundamental para el uso de los cúmulos como una herramienta cosmológica, proporcionando una "calibración" de su masa en función de otras propiedades observables de manera más sencilla como sus propiedades ópticas, algo esencial para poder explotar los catálogos de cúmulos que serán desarrollados por los futuros grandes cartografiados como JPAS, PanStarrs y otros.

El segundo método que CLASH explota es la búsqueda de supernovas de Tipo Ia. Como es bien sabido, estos objetos son una especie de candelas estándar, cuyas curvas de brillo permiten estimar con relativa exactitud el valor de su luminosidad intrínseca. Comparando esta cantidad con el brillo observado de la supernova, es posible derivar su distancia, lo que nos permite trazar la evolución de la geometría en función del tiempo. Esta es, de hecho, la técnica por la que se concedió el premio Nobel a Perlmutter, Riess y Schmidt. CLASH está aprovechando las observaciones que llevan a cabo los instrumentos del Hubble que no están enfocados en los cúmulos, lo que se conoce como observaciones paralelas, para detectar nuevas supernovas. Después lleva a cabo observaciones adicionales de estos campos (hasta cincuenta órbitas) para poder determinar su curva de brillo. La utilización de la nueva cámara del HST, la WFC3, con su alta sensibilidad en el infrarrojo, permite detectar supernovas hasta un *redshift* de 2,5.

Entre los resultados más importantes de CLASH hasta la fecha se encuentra el descubrimiento de varios objetos a muy alto *redshift*, magnificados por el cúmulo de galaxias. Es en particular interesante un candidato a una galaxia a $z=9,6$ cuyo *redshift* ha sido estimado con gran precisión y fiabilidad usando nuestros dieciséis filtros.

CLASH se encuentra ahora en el ecuador de su programa de observaciones, y entra en la fase más interesante, ya que la mayor parte del desarrollo de algoritmos y técnicas se ha llevado a cabo y se acumulan suficientes datos como para empezar a obtener resultados fundamentales.

Txitxo BENITEZ (IAA_CSIC)

Este artículo aparece en el número 37, julio 2012, de la revista "Información y Actualidad Astronómica", del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA_CSIC)