

## Las galaxias starburst

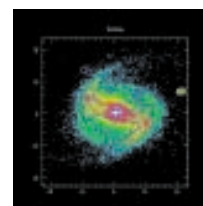
Existen galaxias en el Universo con una agitada vida interior. En muchas de ellas se están produciendo partos múltiples de estrellas, brotes masivos y violentos de formación estelar. De ahí el término inglés "starburst" que los astrónomos emplean para identificarlas. En el marco del proyecto "Grupo de Estudios de Formación Estelar (GEFE)" del IAC y con financiación del Gobierno de Canarias, se ha concluido un catálogo de unas 50 galaxias de este tipo, que han sido observadas en el rango visible e infrarrojo del espectro, usando telescopios de los Observatorios del Teide y del Roque de los Muchachos. Estas imágenes compondrán el primer "Atlas de galaxias con formación estelar observadas desde Canarias", un manual de referencia que se editará también en CD-rom.

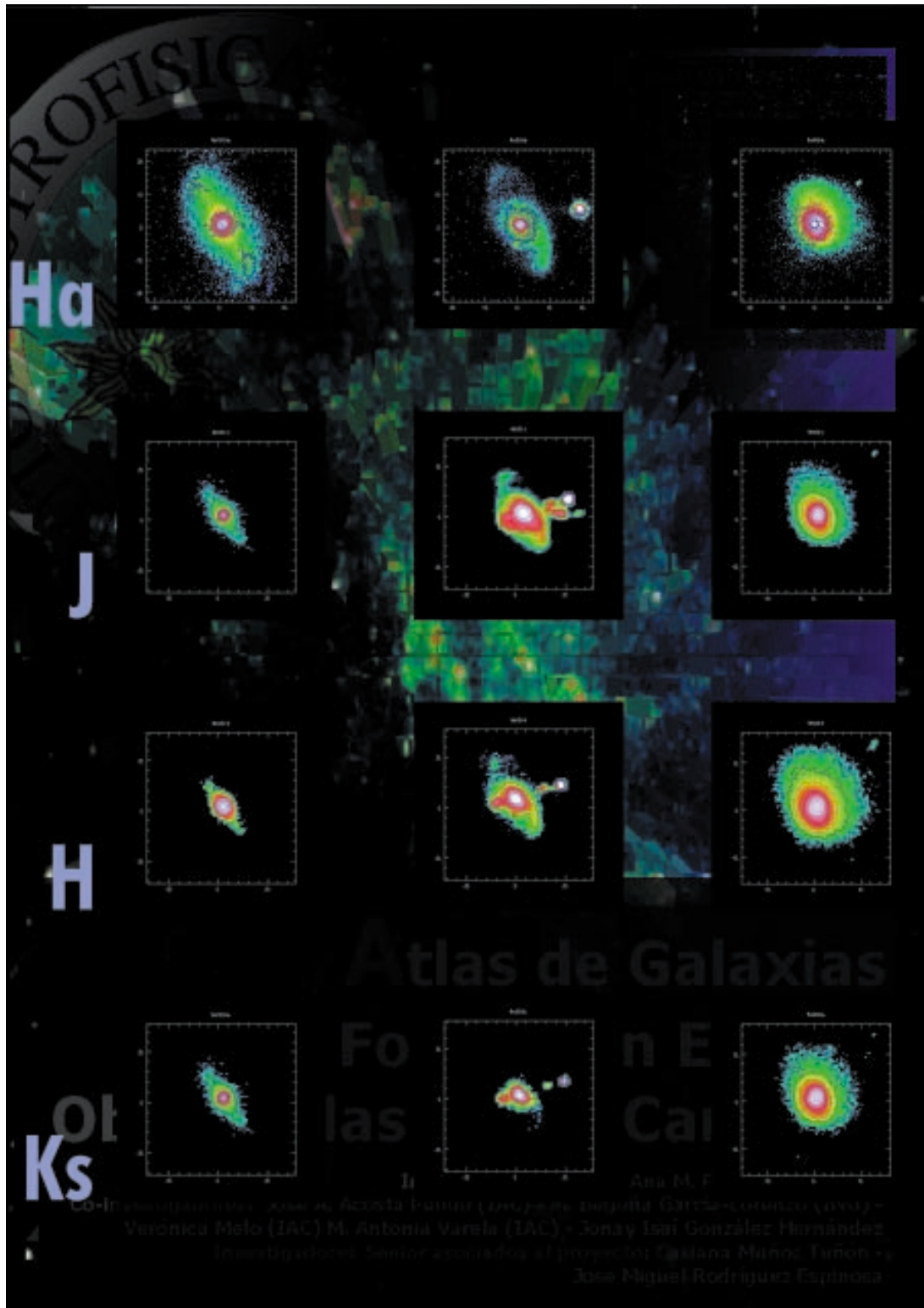


**Ana M. Pérez**  
(IP del Proyecto del  
Gobierno Autónomo)



**Casiana  
Muñoz-Tuñón**  
(IP del Proyecto  
GEFE)





Imágenes de algunas de las galaxias de la muestra en los filtros  $H\alpha$ , J, H y Ks de Mrk 1012, Mrk 353 y Mrk 430 (de izquierda a derecha).

En el proyecto GEFE (Grupo de Estudios de Formación Estelar) estamos interesados en estudiar la aparición de brotes de formación estelar violenta que se encuentran en los núcleos de algunas galaxias, llamados por esta razón *starbursts*. Se piensa que estos episodios violentos representan un periodo breve en la vida de esas galaxias, dado que el gas disponible no es suficiente para mantener un ritmo de formación estelar tan intenso. No obstante, estas galaxias son numerosas en el Universo local y de ellas proviene un 10% de la luminosidad total observada, lo cual las hace un fenómeno significativo desde el punto de vista energético.

El impacto que la formación estelar violenta tiene en el medio interestelar circundante implica un gran número de procesos físicos de interacción: fotoionización del gas por las estrellas calientes (regiones de hidrógeno ionizado o HII), vientos estelares, formación de super-burbujas y vientos galácticos, e influye incluso en la formación de futuras generaciones de estrellas. La exploración de estos procesos entre un brote de formación estelar y sus alrededores requiere el estudio de los componentes que resultan más afectados en la galaxia.

### **Física asociada**

Las estrellas se forman a partir de grandes nubes de gas y polvo que colapsan hasta alcanzar elevadísimas temperaturas dando lugar a las reacciones nucleares que compensarán a las fuerzas gravitatorias tendentes a destruirlas. Los granos de polvo cósmico oscurecen gran parte de la luz visible. Este polvo, sin embargo, es transparente al infrarrojo cercano, donde podemos explorar regiones ópticamente invisibles tales como el centro de nuestra galaxia o de otras galaxias, o nubes densas donde se están formando estrellas y planetas. El estudio de muchos objetos donde se detecta la presencia de polvo -regiones de formación estelar, núcleos de galaxias activas o galaxias enteras- requieren ser observados en el infrarrojo pues la radiación visible es absorbida por el polvo y reemitida en este rango del espectro electromagnético.

Por otra parte, las regiones HII (o de hidrógeno ionizado por la estrella caliente cercana) son representativas del gas a partir del cual se han formado recientemente las estrellas. Son las re-

giones más brillantes del medio interestelar que emiten radiación cuando los protones (H+) y los electrones se recombinan dando lugar a líneas de emisión fácilmente detectables en el rango visible.

El fenómeno *starburst* puede aparecer cerca del centro galáctico, o quizás en su disco. El comienzo de la formación estelar puede ser resultado de encuentros gravitatorios o colisiones entre galaxias. Estas galaxias presentan normalmente altas razones de formación estelar a gran escala y, por tanto, dominadas por emisión de luz visible e infrarroja procedente de las estrellas masivas y jóvenes.

Las observaciones ópticas en banda ancha se completan haciendo imagen profunda en otras longitudes de onda. Para ello deben utilizarse filtros especiales en estas bandas, como son H $\alpha$  e infrarrojo cercano. Ambas nos aportarán información acerca de la tasa de formación estelar y el enrojecimiento interno, así como posibles distorsiones del campo gravitatorio en los objetos de la muestra.

«Estas galaxias son numerosas en el Universo local y de ellas proviene un 10% de la luminosidad total observada, lo cual las hace un fenómeno significativo desde el punto de vista energético.»

### **Instrumentación**

Para la ejecución de este proyecto hemos utilizado las instalaciones de los dos observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias:

el Observatorio del Teide y el Observatorio del Roque de los Muchachos, en las islas de Tenerife y La Palma, respectivamente, así como de la sede central del IAC. La excelente calidad del cielo de Canarias garantiza el mejor enclave astronómico para la realización de este proyecto (<http://www.iac.es/gabinete/sky/sky.htm>).

Las imágenes profundas en H $\alpha$  se obtuvieron con el telescopio «Jacobus Kapteyn» (JKT) situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos. El JKT es un telescopio de montura ecuatorial con un espejo parabólico de 1 m de diámetro; es un telescopio relativamente pequeño y actualmente se dedica a proyectos que requieren gran número de noches sin los requerimientos de un gran telescopio.

Las imágenes en el infrarrojo cercano se obtuvieron con el telescopio «Carlos Sánchez», situado en el Observatorio del Teide, en la isla de Tenerife. Se trata de un telescopio con un espejo

principal de 1,52 m de diámetro. Las observaciones se realizaron en tres filtros del IR cercano J, H y Ks disponibles en el telescopio.

De forma paralela analizamos la emisión en el infrarrojo medio y lejano de los objetos del catálogo, utilizando datos del satélite ISO (o de IRAS).

### **Imágenes en infrarrojo**

El Universo nos envía una enorme cantidad de información en forma de radiación electromagnética (luz). Gran parte de ella se encuentra en forma de ondas infrarrojas, invisibles a nuestros ojos y a los telescopios ópticos. Todo cuerpo que tiene



una temperatura por encima del cero absoluto irradia ondas en la banda infrarroja. Por eso, la astronomía infrarroja significa el estudio de casi todas los objetos del universo, en una gama de longitudes de onda de 1 a 300 micrones (un micrón o micrómetro es la millonésima parte de un metro), entre el espectro visible y las microondas.

Tan sólo una ínfima cantidad de las ondas infrarrojas alcanzan la superficie de la tierra; sin embargo, el estudio de las longitudes de onda infrarrojas ha permitido a los astrónomos descubrir una extraordinaria cantidad de información.

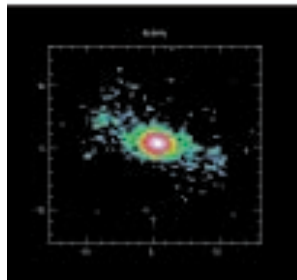
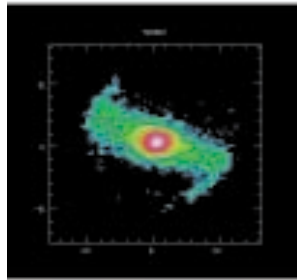
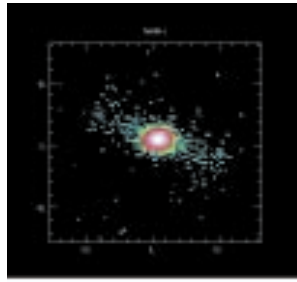


*Telescopio «Carlos Sánchez» (TCS), a la izquierda, y Telescopio «Jacobus Kapteyn» (JKT), a la derecha, instalados en el Observatorio del Teide y en el Observatorio del Roque de los Muchachos, respectivamente. Son los telescopios utilizados para confeccionar el catálogo de galaxias starburst observadas desde Canarias. Fotos: Miguel Briganti (SMM/IAC).*

El estudio de la formación estelar en galaxias se encuentra íntimamente ligado a la evolución y formación de las mismas y por extensión, del Universo. Existe una notable variedad en cuanto a la actividad de formación que se observa en los distintos tipos de galaxias. Su estudio ha experimentado un significativo avance estimulado en gran parte por dos descubrimientos clave: la existencia de una población de galaxias ultraluminosas en el rango infrarrojo, revelada por el satélite IRAS (que detectó cerca de 350.000 fuentes infrarrojas, con lo que el número de fuentes astronómicas catalogadas aumentó en un 70%) y, entre ellas, galaxias con formación estelar de alto corrimiento al rojo (alejándose de nosotros). Actualmente, este campo continúa en expansión gracias a la mejora de las técnicas observacionales, tanto desde tierra (mejora de sensibilidad, acceso a grandes telescopios) como desde el espacio (el satélite ISO, que operó desde 1995 hasta 1998).

Una forma de medir el ritmo de formación estelar es a través de la luminosidad infrarroja. En galaxias con brotes de formación, las estrellas jóvenes dominan el campo de radiación y el polvo interestelar absorbe gran parte de esta radiación, reemitiéndola en el rango infrarrojo medio y lejano. Los estudios realizados hasta ahora encuentran que las tasas de formación estelar que se determinan a partir de la emisión infrarroja son hasta un factor  $\sim 10$  mayor que la determinada a través de la luminosidad en  $H\alpha$ , lo cual se atribuye a la extinción interna. La mayor parte de las galaxias "starburst" seleccionadas en el rango visible no presentan una luminosidad infrarroja que excede de 10-11 la luminosidad del Sol. En este sentido, son fundamentales los datos de ISO porque nos permitirán estimar la luminosidad

«Estas galaxias presentan normalmente altas razones de formación estelar a gran escala y, por tanto, dominadas por emisión de luz visible e infrarroja procedente de las estrellas masivas y jóvenes.»



De arriba a abajo, imágenes de Mrk 384 en el filtro J, H y Ks.

infrarroja especialmente en los casos cerca del límite de sensibilidad de IRAS. Por otro lado, se ha demostrado que una condición necesaria para mantener un alto ritmo de formación estelar en el núcleo es que haya una caída de material hacia éste. Por tanto, es esperable que existan perturbaciones en el potencial gravitatorio, lo cual aparecerá reflejado en los perfiles de brillo superficial.

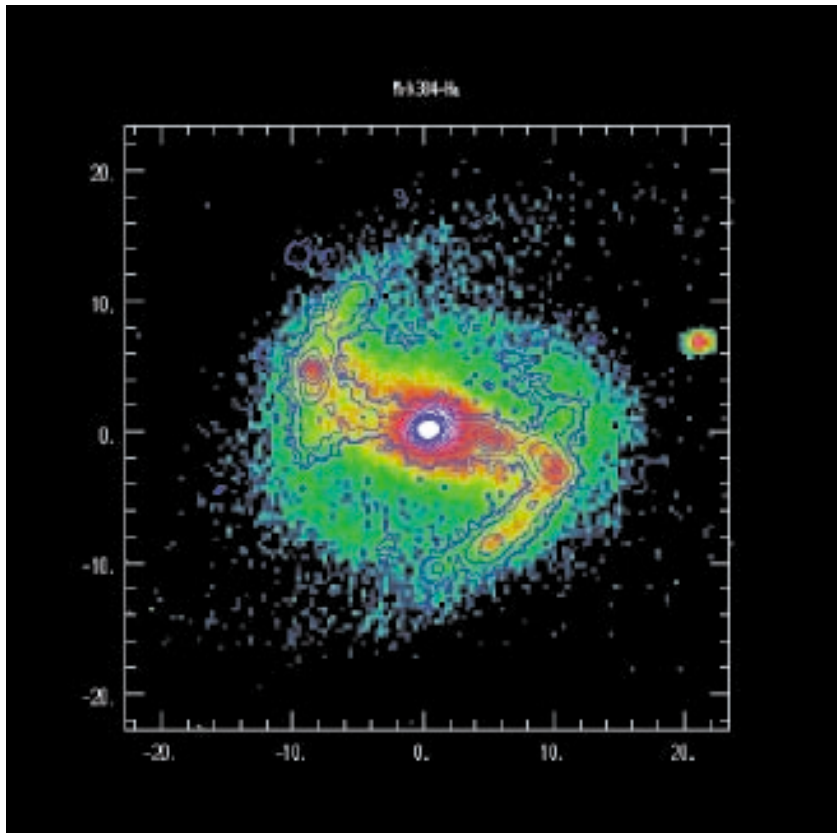
Además, el estudio de la morfología en el infrarrojo cercano está relacionado con la distribución de población estelar más vieja. Este es un campo relativamente nuevo, debido a la reciente disponibilidad de detectores IR de gran formato. Completaremos nuestro estudio con imágenes en las bandas J, H, Ks obtenidas en el Observatorio del Teide. A partir de las imágenes en el IR cercano (J, H, Ks) y las imágenes en  $H\alpha$  estudiaremos los perfiles de brillo de los objetos. Mediante una descomposición de las componentes galácticas (bulbo y disco) obtendremos los brillos del disco y bulbo de cada galaxia, y una "máscara" con la distribución de regiones HII descontaminada de la galaxia subyacente. Hemos desarrollado una metodología que nos permitirá analizar la estructura 3-D

asociada a estos objetos. Nuestro método nos permite analizar la posible relación entre la actividad circunuclear y nuclear tipo starburst y modelizar las diferentes estructuras (barras, anillos, bulbo, disco) que componen la galaxia.

El estudio de la emisión en el IR medio y lejano es fundamental para conocer la masa de polvo en los objetos, así como los mecanismos que lo ca-

lientan. Esto hace que sea otro buen estimador del ritmo de formación estelar. Las observaciones del satélite ISO permiten definir la distribución espectral

de energía desde el IR medio hasta el IR lejano, con la mayor sensibilidad hasta el momento y en una región inexplorada hasta ahora (desde



*Imagen en el filtro H $\alpha$  de la galaxia Mrk 384.*

120 hasta 200 micras). A partir de estos datos, que han sido liberados al público recientemente, podremos calcular la luminosidad infrarroja y, por tanto, el ritmo de formación estelar. Compararemos estos resultados con los obtenidos a partir de nuestro estudio de la emisión en H $\alpha$ .

La muestra de galaxias con formación estelar violenta ha sido seleccionada a partir de muestras existentes en la literatura de galaxias con líneas de emisión con criterios espectroscópicos, de forma que podemos discriminar entre galaxias con brotes masivos de formación estelar y otras galaxias con núcleo activo. Para todos los objetos de la muestra obtendremos los datos disponibles en el rango infrarrojo bien con observaciones recientes del satélite ISO y en su defecto usaremos datos de IRAS.

### **Imágenes en el visible**

Uno de los mejores candidatos en el rango visible es el medio interestelar ionizado (HII) por las estrellas jóvenes y masivas, para lo que se utilizan filtros H $\alpha$ . Esto nos permite determinar la distribución y morfología de la formación estelar circunuclear, la localización de regiones HII y su función de luminosidad. También es el punto de partida para posteriores estudios de espectroscopía bidimensional que son la base de las medidas de densidad y condiciones físicas del medio ionizado.

Los investigadores que han participado en este proyecto son: A. M. Pérez García, J.A. Acosta Pulido, B. García Lorenzo, V.P. Melo, A.M. Varela, C. Muñoz Tuñón y J.M. Rodríguez Espinosa. También han colaborado: J.I. González Hernández, M.J. Vidal Núñez y P. Rodríguez Hidalgo.

«El estudio de la formación estelar en galaxias se encuentra íntimamente ligado a la evolución y formación de las mismas y, por extensión, del Universo.»