

Emisión Gamma de galaxias *Starburst*

Introducción: astronomía de altas energías y emisión gamma

La astronomía de altas energías estudia los fenómenos vinculados a partículas muy energéticas. Entre ellos, se destacan los mecanismos de aceleración de partículas hasta velocidades cercanas a la de la luz, la emisión de radiación no-térmica a partir de distintos procesos físicos¹, y las propiedades de los objetos astronómicos que son fuentes de esta emisión.

En particular, la existencia de fuentes astronómicas que emiten **radiación gamma** (radiación de alta energía cuyos fotones se encuentran en el rango MeV–TeV \dagger ¹) ha sido establecida hace ya varias décadas por los primeros observatorios de altas energías, como *COS-B*. Las misiones satelitales que vinieron más tarde (e.g., *Compton Gamma-Ray Observatory*, *INTEGRAL*, *Fermi*), junto con los observatorios Cherenkov (e.g., VERITAS, MAGIC, H.E.S.S.) han permitido extender hasta los TeV el rango de energía de la emisión detectada y mejorar la calidad de las observaciones². Como resultado, actualmente se conoce una gran cantidad de fuentes de rayos gamma, cuya naturaleza constituye uno de los principales temas de investigación de la Astronomía de Altas Energías. Muchas de las fuentes observadas han sido identificadas como sistemas astrofísicos conocidos, principalmente núcleos galácticos activos (NGA)³, remanentes de supernova (RSN)⁴, sistemas estelares binarios de distintos tipos, pulsares (PSR)⁵ y sus vientos.

La producción de fotones gamma por parte de estos sistemas requiere de la existencia de partículas (principalmente protones y electrones) aceleradas hasta alcanzar velocidades relativistas (es decir, cercanas a la velocidad de la luz). Este tipo de partículas también se conoce como rayos cósmicos (CRs por *cosmic rays*)⁶. Los CRs transforman parte de su energía en radiación electromagnética mediante interacciones con fotones, materia o campos magnéticos existentes en el medio en que se propagan. Algunos de estos procesos se conocen como bremsstrahlung (Fig. 1), dispersión Compton inversa (Fig. 2), producción y decaimiento de piones (Fig. 3), entre otros, y a partir de ellos se generan fotones gamma. Los fotones muy energéticos resultantes proveen información de la población de CRs producidos por la fuente, y su análisis permite investigar los mecanismos que aceleran estas partículas. Estos mecanismos de aceleración son temas centrales de la Astrofísica Relativista. El estudio de la radiación también permite explorar las propiedades del medio a través del cual se propagan tanto los CRs como la radiación.

¿Pero qué es una SBG?

Las galaxias con formación estelar activa (*star-forming galaxies*, SFGs) son aquellas que están formando estrellas. Las galaxias con brotes de formación estelar (*starburst galaxies*, SBGs) son galaxias que están pasando por un episodio de formación de estrellas muy intenso (*Burst*, por 'brote' en inglés), usualmente en la región central. En estas regiones de formación el gas es convertido en estrellas masivas^{†2} a un ritmo mucho mayor al encontrado en las galaxias normales o SFGs. Las estrellas masivas en el *Burst* generan la mayor parte de la luminosidad total de toda la galaxia. Las SBGs son además objetos fascinantes ya que allí se forman alrededor del 25% de todas las estrellas masivas en el universo local!⁷

¿Por qué una SBG emite radiación de alta energía?

Desde el **punto de vista teórico**, la emisión de radiación por parte de las SFGs ha sido predicha por numerosos trabajos. Estos últimos se basan en el hecho de que las SFGs contienen muchas estrellas masivas y remanentes de supernova⁸. Se cree que los RSN son los principales aceleradores de partículas y por ello los principales productores de CRs. Las SFGs tienen un medio interestelar denso y campos de radiación intensos que al interactuar con los CRs generarían la radiación gamma por algunos de los procesos nombrados anteriormente. En este sentido, las SBGs son apreciables por su eficiencia de formación de estrellas masivas, sus altas densidades de gas y sus intensos campos de radiación que otra vez al interactuar con los CRs generarían emisión de radiación gamma más intensa que en el caso de las SFGs.

Los **modelos usados hasta el presente** para explicar la emisión de las SFGs suponen que la radiación proviene de una población de CRs acelerados por los choques de los RSN, transportados por los vientos de estas fuentes y difundidos en el medio interestelar.

Los electrones acelerados a altas velocidades producen fotones con energías en el rango de los GeVs (1GeV equivale a mil MeV) principalmente por dispersión Compton inversa, mientras que los protones acelerados interactúan con protones del medio interestelar para crear piones, que decaen luego en fotones con energías en el rango GeV-TeV.

¿Y cómo se observan estas fuentes?

Las primeras **observaciones** de estas fuentes en la banda de rayos gamma datan de 2009 y constituyen uno de los más recientes agregados a los catálogos de fuentes gamma.

Actualmente se han observado en esta banda de energía ya 10 galaxias, de las cuales 4 corresponden a SFGs típicas y 6 a SBGs. Las detecciones han sido hechas tanto por *Fermi*, como por H.E.S.S. y VERITAS en el rango de los TeV. Estas son las primeras fuentes extragalácticas cuya emisión gamma no proviene de NGA, sino de sus poblaciones estelares.

Uno de los procesos más importantes que se ha observado tanto en las SBGs locales como en las lejanas, es el flujo masivo de gas caliente a velocidades cercanas o incluso superiores a la velocidad de escape del potencial gravitacional galáctico; a este flujo se le suele llamar *Superwinds* (del ingles "super viento"). Los *Superwinds* son impulsados por el efecto colectivo de la energía en movimiento que se deposita en el medio interestelar por los vientos estelares⁹ y las explosiones de supernova. Se cree que esta energía cinética se convierte (a través de choques) en energía térmica dentro de SBGs. El gas caliente resultante tiene una presión mucho mayor que su entorno, por lo que se expandirá más rápidamente en general a lo largo del eje menor del disco de la galaxia. Esto conduce a un flujo saliente cuya emisión térmica en rayos X puede ser observada (ver Fig. 4), y que puede llegar a alcanzar distancias de 10000 a 30000 pc †³ desde la región del *Burst* (y hacia el halo de la galaxia).

¿Y qué se esta estudiando actualmente sobre este tema en el IAR?

Además de las cuestiones discutidas anteriormente, están siendo estudiadas actualmente otras que tienen que ver con el proceso de producción de CRs y emisión en estas galaxias. En primer lugar, la importancia de la contribución de otros tipos de aceleradores distintos a los RSN (PSR, sistemas binarios, etc.) no está clara aún. Un punto notable de la detección de SFGs a altas energías es que permite investigar directamente la emisión colectiva producida por la población de CRs, en lugar de la generada por fuentes individuales. Las observaciones de SFGs podrían aportar evidencia de nuevos procesos cuyo origen estuviera relacionado con fenómenos colectivos del sistema de fuentes, como las super burbujas observadas en torno a brotes de formación estelar intensos¹⁰. Esto permitiría explorar la viabilidad de las SBGs como fuentes de CRs extragalácticos y otros tipos de partículas, como los neutrinos.

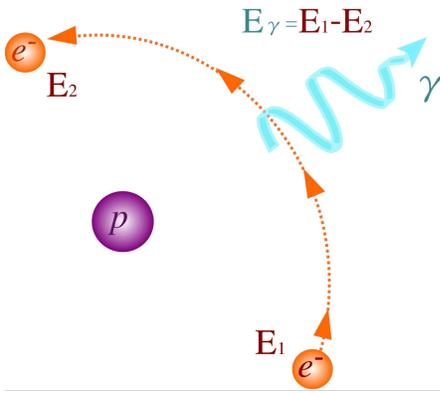


Fig 1: Bremsstrahlung relativista

Se produce cuando un electrón relativista es acelerado en el campo electrostático de un núcleo atómico u otra partícula cargada.

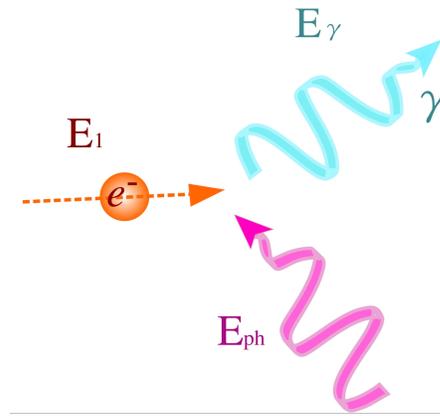


Fig 2: Dispersión Compton Inversa

Se produce cuando un fotón de energía E_{ph} es dispersado por un electrón relativista de energía E_1 , el electrón le cede energía al fotón y produce rayos- γ de energía E_γ

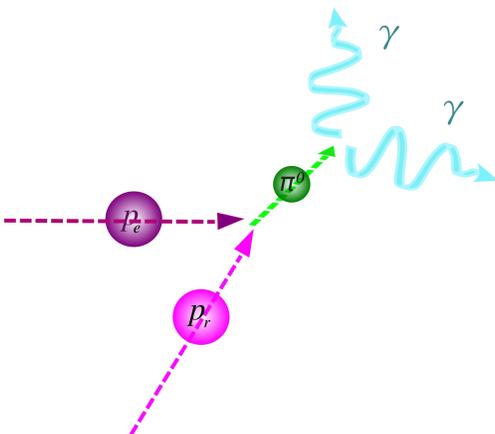


Fig 3: Colisión protón-protón:

Se produce cuando un protón relativista p_r interactúa con un protón del ambiente p_e . Esta colisión puede producir piones neutros π^0 mediante la reacción $p + p \rightarrow \pi^0 + p + p$ y a su vez, los piones neutros, al ser inestables, decaen en un 98.8 % de los casos mediante la reacción: $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$

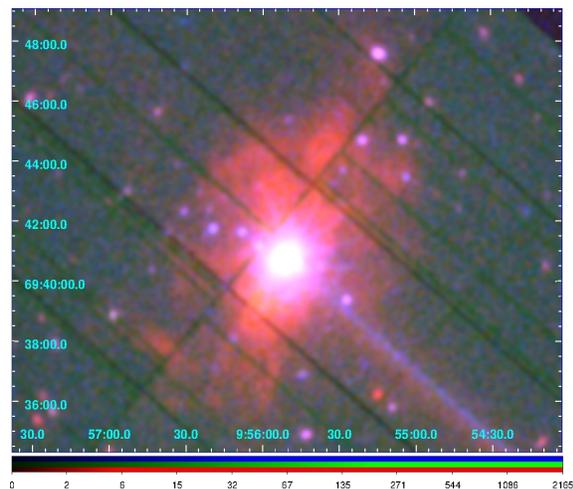


Fig 4: M82

Imagen de la SBG M82 donde pueden verse en color rojo la emisión del "Super viento"

- 1 para entender mas de radiación consultar <http://www.iar.unlp.edu.ar/divulgacion/art-difu-21.htm>
- 2 Para informarse mas sobre instrumentos de detección de rayos gammas consultar:
<http://www.iar.unlp.edu.ar/divulgacion/art-difu-31.htm>
- 3 Para obtener información sobre NGAs se recomienda leer el articulo en ingles:
https://en.wikipedia.org/wiki/Active_galactic_nucleus
- 4 Para entender sobre RSNs se recomienda leer: <http://www.iar.unlp.edu.ar/divulgacion/art-difu-35.htm> y
<http://www.iar.unlp.edu.ar/divulgacion/art-difu-15.htm>
- 5 Para mas información sobre pulsares se recomienda leer: <http://www.iar.unlp.edu.ar/divulgacion/art-difu-22.htm>
- 6 Para mas información sobre CRs dirigirse a: <http://www.iar.unlp.edu.ar/divulgacion/art-difu-32.htm>
- 7 Starburst Galaxies (T Heckman 2006)
- 8 Romero & Torres 2003; Domingo & Torres 2005; Persic et al. 2008; de Cea del Pozo et al. 2009; Rephaeli et al. 2010
- 9 El lector interesado en vientos estelares puede consultar a: <http://www.iar.unlp.edu.ar/divulgacion/art-difu-38.htm>
- 10 e.g., Fabbiano et al. 2001

Notas al pie:

(†¹) 1eV es una unidad que representa la energía que debe adquirir un electrón al atravesar una diferencia de potencial de 1 Volt, el valor de esta es similar a la energía que tiene un fotón en el rango óptico (luz visible). Los fotones gamma tienen como mínimo 10000 veces más energía que los fotones del rango óptico. Un MeV equivale a un millón de eV y un TeV equivale a un billón de eV.

(†²) Se le llama estrella masiva a aquellas estrellas con masas mayores a ocho veces la masa del sol.

(†³) 1 pc es una unidad que representa 206265 veces la distancia entre el Sol y la Tierra.