



ISSN 1669-9521 (versión digital)  
ISSN 0571-3285 (versión impresa)

*A* sociación  
*A* rgentina de  
*A* stronomía

*Boletín N° 55*

*Mar del Plata, 2012*



# Asociación Argentina de Astronomía

Fundada en 1958

Personería Jurídica 11811 (Buenos Aires)

### **Comisión Directiva**

Dra. Cristina H. Mandrini (Presidente)  
Dra. Victoria Alonso (Vice-Presidente)  
Secretaria: Dra. Elsa Giacani (Secretaria)  
Tesorera: Dra. Cristina Cappa (Tesorera)  
Ing. Pablo Recabarren (Vocal 1)  
Dr. David Merlo (Vocal 2)  
Dra. Georgina Coldwell (1er Suplente)  
Dr. Jorge Combi (2do Suplente)

### **Comisión Revisora de cuentas**

Titulares:

Dra. Sofía Cora  
Dra Paula Benaglia  
Dra. Susana Pedrosa

Suplentes:

Dra. Stella Malaroda  
Dr. Mariano Domínguez Romero

### **Comité Nacional de Astronomía**

Secretario: Dr. G. Bosch

Miembros:

Dra. L. Cidale  
Dr. P. Mauas  
Dr. C. Valotto  
Dra. G. Coldwell

# Asociación Argentina de Astronomía

## Reunión Anual

Mar del Plata, 17 al 21 de setiembre de 2012

Organizada por:

Instituto Argentino de Radioastronomía

### COMITÉ EDITORIAL

Dr. Adrián Rovero (Editor Jefe)  
Dr. Gustavo Romero (Editor Invitado)  
Dr. Leonardo Pellizza (Secretario Editorial)  
Dr. Marcelo Lares (Técnico Editorial)

**Comité Científico de la Reunión Nro. 55**

Cristina E. Cappa (IAR)  
Pablo M. Cincotta (IALP)  
Alejandro Córscico (IALP)  
Federico González (ICATE)  
Marcelo López Fuentes (IAFE)  
Nidia Morrell (Las Campanas Observatory)  
Hernan Muriel (IATE)  
Gustavo E. Romero (Presidente - IAR)

**Comité Organizador Local de la Reunión Nro. 55**

Lucía Bagnato  
Federico Bareilles  
Paula Benaglia  
Claudia Boeris  
Mariela Corti  
Nicolás Duronea  
Ricardo Morras (Presidente)  
Mariana Orellana  
Nelva Perón  
Matías Reynoso  
Laura Suad  
Javier Vasquez

## PRESENTACIÓN MURAL

### Agujeros negros de masa estelar en el Universo temprano

V.M. Douna<sup>1</sup>, L.J. Pellizza<sup>1,2</sup> & I.F. Mirabel<sup>1,2,3</sup>

(1) *Instituto de Astronomía y Física del Espacio (CONICET-UBA)*

(2) *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas*

(3) *CEA Saclay, France*

**Abstract.** We investigate the dependence on metallicity of the relation between the X-ray luminosity and the star formation rate of star-forming galaxies. We compile a sample of observations of nearby galaxies, and develop Monte Carlo models of their X-ray binary populations to interpret them. We conclude that the evidence for the variation of the aforementioned relation with metallicity is still marginal.

**Resumen.** Investigamos la dependencia con la metalicidad, de la relación entre la luminosidad en rayos X y la tasa de formación estelar de las galaxias con formación estelar activa. Compilamos una muestra de observaciones de galaxias cercanas y desarrollamos modelos Monte Carlo de sus poblaciones de binarias de rayos X para interpretarlas. Concluimos que la evidencia en favor de la variación de dicha relación con la metalicidad es aún marginal.

## 1. Introducción

Aproximadamente  $\sim 0,4$  Myr después del Big Bang, la temperatura del Universo descendió por debajo de  $\sim 10^4$  K, permitiendo la formación de hidrógeno neutro (HI) a partir del plasma ionizado (Peacock 1999) y la consiguiente propagación libre de la radiación. Sin embargo, hay evidencia de que alrededor de 1 Gyr después del Big Bang el medio intergaláctico se encontraba nuevamente ionizado (Loeb 2010). Las causas y la forma en que se desarrolló el proceso de reionización del Universo aún son tema de debate (e.g., Mirabel et al. 2011). La visión predominante es que la mayor parte de la reionización fue causada por la radiación ultravioleta de las estrellas masivas formadas en las primeras galaxias, aunque recientemente Mirabel et al. (2011) han propuesto que una fracción importante de la reionización podría deberse a la radiación emitida por binarias de rayos X de alta masa (HMXBs) formadas en dichas galaxias.

El punto fuerte del escenario de Mirabel et al. (2011) consiste en tres tendencias sugeridas por las observaciones y modelos actuales de evolución estelar: a) la cantidad de agujeros negros en una población estelar aumentaría al decrecer la metalicidad de la misma; b) la masa de los agujeros negros, y por consiguiente la luminosidad en X de las HMXBs, seguiría la misma tendencia; c) los agujeros negros más masivos se formarían sin impulsos natales importantes, lo que facilitaría la supervivencia de las HMXBs a la explosión de supernova

que forma el objeto compacto (Mirabel et al. 2011, y sus referencias). Estas tendencias implican que la tasa de producción y la luminosidad de las HMXBs en el Universo temprano, cuando la metalicidad era baja, deberían haber sido superiores a las actuales, y por lo tanto estos sistemas podrían haber contribuido con una importante producción de radiación ionizante.

Sin embargo, las tendencias mencionadas aún son tema de debate. Por ello, para establecer más allá de toda duda la influencia de las HMXBs en la reionización del Universo es necesario determinar con precisión la dependencia de la producción y luminosidad de las HMXBs con la metalicidad. Esto puede hacerse a partir de observaciones de galaxias cercanas con formación estelar activa. Grimm et al. (2003) y Mineo et al. (2012) han hallado una relación lineal entre la luminosidad en rayos X de una galaxia y su tasa de formación estelar, que sugiere que el número de HMXBs escala con la masa de nuevas estrellas formadas en la galaxia, independientemente de la metalicidad. Sin embargo, se han reportado posibles variaciones de esta relación en galaxias de baja metalicidad (Kaaret et al. 2011), lo que puede ser un indicio de la dependencia mencionada.

En este trabajo presentamos los resultados preliminares de nuestra investigación para corroborar la hipótesis de la dependencia de la producción de HMXBs con la metalicidad de las poblaciones estelares. Compilamos de la literatura una muestra de galaxias cercanas para las cuales se ha medido su metalicidad, tasa de formación estelar y luminosidad en rayos X, y desarrollamos modelos numéricos de tipo Monte Carlo para determinar estadísticamente si esta hipótesis ajusta mejor las observaciones que la relación lineal de Mineo et al. (2012).

## 2. Emisión X de galaxias cercanas

Una búsqueda bibliográfica detallada nos permitió construir una muestra de 32 galaxias que abarcan un amplio rango de metalicidades,  $7 < 12 + \log(\text{O}/\text{H}) < 9$ . Para cada una de estas galaxias compilamos estimaciones de su luminosidad en rayos X ( $L_X$ ), su tasa de formación estelar ( $\Psi$ ) y su abundancia de oxígeno  $12 + \log(\text{O}/\text{H})$  como indicador de la metalicidad. Los datos fueron tomados de Ghigo et al. (1983), Sage et al. (1992), Stevens & Strickland (1998), Corbin & Vacca (2002), Thuan et al. (2004), Winter et al. (2006), Hirashita et al. (2008), Kaaret et al. (2011) y Mineo et al. (2012). Cabe destacar que las galaxias seleccionadas tienen tasas de formación estelar específicas altas, lo que asegura que las HMXBs dominan la emisión en X. Además, pusimos especial empeño en homogeneizar los datos de los distintos autores, corrigiendo por las diferencias derivadas del uso de distintos métodos de medición. Esto es particularmente importante en el caso de las metalicidades (e.g., Kewley & Dopita 2002) y las tasas de formación estelar (e.g., Kennicutt 1998).

Teniendo en cuenta estas consideraciones, estudiamos la relación  $L_X/\Psi$  en función de O/H para la muestra de galaxias (Fig. 1, izq.). A pesar de que la dispersión es alta, los resultados exhiben una tendencia decreciente que sugiere la existencia de una correlación entre estas dos magnitudes. Esta correlación podría deberse a una dependencia real entre ambas variables, como plantean Mirabel et al. (2011, y sus referencias), o bien a efectos de selección o estadísticos.



Implementamos entonces modelos numéricos que tienen en cuenta estos efectos para investigar el origen de la misma.

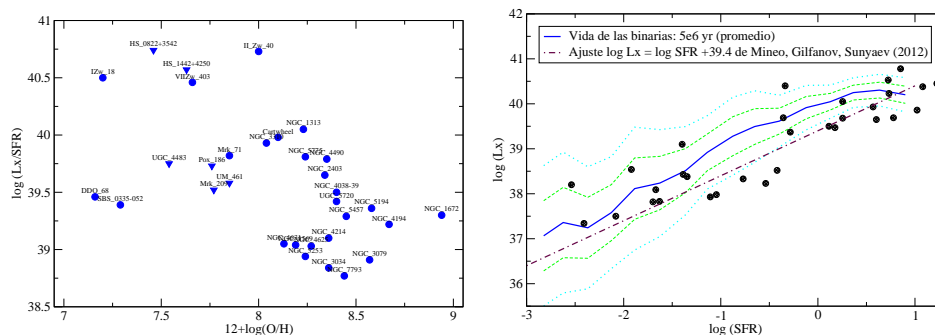


Figura 1. Dependencia de  $L_X/\Psi$  con la metalicidad para la muestra de galaxias obtenida (izq.). Relación entre  $L_X$  y  $\Psi$  para las galaxias (círculos negros), junto con las predicciones de los modelos: media (línea llena azul) e intervalos de confianza de 68 % (línea de trazos verde) y 95 % (línea punteada celeste).

Para analizar si la hipótesis de la dependencia de  $L_X/\Psi$  con la metalicidad explica mejor las observaciones que la relación lineal de Mineo et al. (2012), desarrollamos un código numérico de tipo Monte Carlo para simular la población de HMXBs de una galaxia, incluyendo los posibles efectos de selección y estadísticos. A partir de modelos teóricos para la producción de HMXBs, el código calcula el número de HMXBs y la luminosidad en X de las mismas, teniendo en cuenta la metalicidad y tasa de formación estelar de cada galaxia. Para ello usa una función inicial de masa de Salpeter (1955) y los resultados de los modelos de evolución estelar de Georgy et al. (2009) y de síntesis de poblaciones de binarias de Belczynski et al. (2004). Estos últimos incluyen la dependencia de la producción de binarias con la metalicidad. El código adopta además la función de luminosidad de las HMXBs dada por Fabbiano (2006) y tiene como parámetro libre el tiempo de actividad promedio de una HMXB.

Nuestros modelos, que incluyen la dependencia de la producción de binarias con la metalicidad, predicen una relación no lineal entre  $L_X$  y  $\Psi$ , en contraposición a la relación lineal que exhiben los modelos que no consideran dicha dependencia (Fig. 1, der.). La no linealidad se produce por la correlación existente entre la metalicidad de las galaxias y su tasa de formación estelar. Para altas tasas de formación estelar, nuestro modelo provee un ajuste de las observaciones similar al de Mineo et al. (2012). A bajas tasas de formación estelar (consecuentemente a bajas metalicidades) el modelo con dependencia de la metalicidad es nominalmente mejor que el modelo lineal y supera al mismo en un test de estocasticidad. Sin embargo, la dispersión en las observaciones no permite obtener una conclusión robusta.

### 3. Conclusiones

Realizamos una recopilación de los datos de luminosidades en rayos X, tasas de formación estelar y metalicidades de una muestra de 32 galaxias cercanas, con el objetivo de analizar la dependencia de la producción de HMXBs con la metalicidad de las poblaciones estelares que les dan origen. Encontramos una tendencia en el cociente  $L_X/\Psi$  a disminuir con la metalicidad, lo cual puede ser un indicio de la existencia de dicha dependencia. Para hacer un análisis estadístico del problema, desarrollamos un modelo numérico de tipo Monte Carlo para calcular la cantidad y luminosidad de las HMXBs en una galaxia, basado en los modelos más recientes de evolución estelar y de binarias. Este modelo provee una descripción de las observaciones marginalmente superior al modelo que supone que la dependencia con la metalicidad no existe. Sin embargo, la dispersión de los datos observacionales impide sacar una conclusión más firme. Para resolver este inconveniente, actualmente estamos desarrollando algoritmos estadísticamente más robustos para intentar discernir entre ambos modelos, aún en presencia de una dispersión considerable de los datos. Esto nos permitirá predecir el número de HMXBs en diferentes épocas del Universo y estimar su influencia en la reionización del Universo.

**Agradecimientos.** Los autores agradecen una Beca de Estímulo a la Investigación Científica otorgada por la AAA a VMD para esta investigación. Este trabajo fue financiado parcialmente por el proyecto PICT 2007-0848 de la ANPCyT.

### Referencias

- Belczynski, K., Sadowski, A., Rasio, F. 2004, ApJ, 11, 1068  
Corbin, M., Vacca, W. 2002, ApJ, 581, 1039  
Fabbiano, G. 2006, ARA&A, 44, 323  
Georgy, C., Meynet, G., Walder, R., et al. 2009, A&A, 502, 611  
Ghigo, F. D., Wardle, J. F. C., Cohen, N. L. 1983, AJ, 88, 1587  
Grimm, H. J., Gilfanov, M., Sunyaev, R. 2003, MNRAS, 339, 793  
Hirashita, H., Kaneda, H., Onaka, T., et al. 2008, PASJ, 60, 477  
Kaaret, P., Schmitt, J., Gorski, M. 2011, ApJ, 741, 10  
Kennicutt, R. 1998, ARA&A, 36, 189  
Kewley, L. J., Dopita, M.A. 2002, ApJS, 142, 35  
Loeb, A. 2010, "How Did the First Stars and Galaxies Form?", Princeton Univ. Press  
Mineo S., Gilfanov M., Sunyaev R., 2012, MNRAS, 419, 2095  
Mirabel I.F., Dijkstra M., Laurent P., et al. 2011, A&A, 528, A149  
Peacock, J.A. 1999, "Cosmological Physics", Cambridge Univ. Press  
Sage, L. J., Salzer, J. J., Loose, H.-H., et al. 1992, A&A, 265, 19  
Salpeter, E. E. 1955, ApJ, 121, 161  
Stevens, I., Strickland, D. 1998, MNRAS, 294, 523  
Thuan, T., Bauer, F., Papaderos, P., et al. 2004, ApJ, 606, 213  
Winter, L., Mushotzky, R., Reynolds, C. 2006, ApJ, 649, 730