

Catalogando y estudiando pilares en el medio interestelar: un proyecto de Ciencia Popular

T. Heberling¹, S. Paron¹, & M.E. Ortega¹

¹ Instituto de Astronomía y Física del Espacio, CONICET-UBA, Argentina

Received: 09 February 2024 / Accepted: 11 April 2024

©The Authors 2024

Resumen / Los Dres. Sergio Paron y Martín Ortega (IAFE) a fines del año 2022 lanzaron una convocatoria al público en general para realizar un trabajo en el contexto de lo que se conoce como ciencia ciudadana (Ciencia Popular fue llamada en este caso). Se recibieron cerca de cuarenta muestras de interés, y se realizaron encuentros y entrevistas con varias personas previamente seleccionadas. De ellas, Tamara Heberling, fue la que más avanzó en el trabajo propuesto, generando resultados sumamente interesantes. Dicho trabajo consistió en catalogar estructuras del medio interestelar conocidas como pilares, generar imágenes que combinan distintas longitudes de onda en el infrarrojo para estudiar su morfología, y buscar evidencias de formación estelar en sus puntas. Se presentan algunos resultados de dicho trabajo, el cual más allá de su carácter de ciencia ciudadana, puede considerarse un trabajo plenamente científico. De esta manera no sólo se presentan resultados interesantes en lo que respecta al estudio del medio interestelar, sino que también se destaca el interés que la Astronomía despierta en personas con profesiones no afines a la ciencia que pueden colaborar eficientemente en las tareas científicas cotidianas.

Abstract / At the end of 2022, Drs. Sergio Paron and Martín Ortega (IAFE) launched a call to the general public to carry out a work in the context of what it is known as citizen science (it was called Popular Science in this case). Nearly forty persons answered the call, and some meetings were held with several previously selected people. From all this people, Tamara Heberling, was the one who advanced the most in the proposed work, generating very interesting results. This work consisted in cataloguing structures in the interstellar medium known as pillars, generating images that combine different wavelengths in the infrared bands, studying the morphology of the structures, and looking for evidence of star formation at its tips. Some results of this work are presented, which beyond its citizen science character, can be considered as a genuinely scientific work. In this way, interesting results are not only presented regarding the study of the interstellar medium, but we also highlight the interest that Astronomy generates in people with non-scientific professions, who can collaborate efficiently in the daily scientific work.

Keywords / ISM: general — HII regions — ISM: structure

1. Introducción

El *Green Paper on Citizen Science** de la Unión Europea menciona que la Ciencia Ciudadana es “el compromiso del público general en actividades de investigación científica; (...) cuando los ciudadanos contribuyen activamente a la ciencia con su esfuerzo intelectual o dando soporte al conocimiento con sus herramientas o recursos”. Desde la Secretaría de Articulación Científico Tecnológica** del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Argentina se menciona que “la Ciencia Ciudadana es una manera de producir nuevo conocimiento científico a través de un proyecto estructurado de investigación colectiva, participativa y abierta, impulsado por distintos tipos de actores y actoras, quienes no necesariamente se desempeñan dentro de los ámbitos académicos”. De esta forma, no caben dudas de que generar proyectos

de Ciencia Ciudadana, es apuntar a estrechar los lazos entre la sociedad y la ciencia.

En el Grupo de Medio Interestelar, Formación Estelar y Astroquímica del Instituto de Astronomía y Física del Espacio (CONICET-UBA) iniciamos un proyecto de Ciencia Ciudadana para catalogar e investigar estructuras del medio interestelar. En esta primer etapa, si bien muchas personas inicialmente se contactaron demostrando su interés, como prueba piloto de nuestro proyecto, que lo denominamos Ciencia Popular, trabajamos con una de ellas. La Lic. Tamara Heberling, quien proviene de las ciencias médicas (Lic. en Kinesiología y Fisiatría), obtuvo resultados preliminares muy interesantes, generando la motivación para expandir dicho proyecto. Cabe destacar que los resultados de este trabajo se han presentado en una primer instancia en formato de póster en la 65 Reunión de la Asociación Argentina de Astronomía.

El medio interestelar (MIE), particularmente los filamentos y nubes gaseosas que lo conforman, posee diversas estructuras generadas y moldeadas por la actividad de estrellas masivas. Las burbujas interestelares y regio-

*https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=4122

**<https://www.argentina.gob.ar/ciencia/sact/ciencia-ciudadana/que-entendemos-por-ciencia-ciudadana>

Tabla 1. Catálogo de regiones seleccionadas de la inspección de la Galaxia a través del ESASKY 5.1.1.

Región	l (°)	b (°)	Comentarios sobre las estructuras llamativas de la regiones.
1	269.158	-01.468	forma redondeada, orientación hacia abajo, en la zona superior de la reg. HII.
2	006.056	-01.440	forma de pilar, orientación hacia arriba, hacia la izquierda de la reg. HII.
3	321.148	-00.528	forma de pirámide trunca, fuente brillante en su interior, zona inferior de la reg. HII.
4	024.850	+00.085	forma bacilar, punta redondeada, zona lateral derecha de la reg. HII.
5	079.560	-00.771	forma de filamento curvado hacia la derecha, zona superior de la reg. HII.
6	024.850	+00.085	forma de pilar con punta irregular, zona inferior de la reg. HII.
7	009.928	-00.748	forma redondeada-abultada, zona lateral derecha de la reg. HII.
8	353.162	+00.835	forma de L con bordes redondeados, zona izquierda de la reg. HII.
9	353.012	+00.812	grumo pequeño con punta redondeada, zona derecha de la reg. HII.
10	269.158	-01.468	varios pilares con puntas redondeadas interiores a la reg. HII.
11	081.307	+01.048	forma de pirámide con punta redondeada, zona lateral derecha de la reg. HII.
12	209.101	-19.811	forma de pirámide truncada con punta ondulada, zona inferior de la reg. HII.
13	332.794	-00.830	forma abultada, zona inferior de la reg. HII.
14	321.148	-00.528	forma triangular con punta redondeada, zona izquierda de la reg. HII.
15	320.980	-00.782	varias estructuras para analizar y consultar.
16	320.980	-00.303	filamento fino y largo desde la zona inferior de la región.
17	337.675	-00.340	grumo pequeño con punta redondeada, zona derecha de la reg. HII.
18	336.448	+00.030	pequeño pilar con punta redondeada, zona inferior derecha de la reg. HII.
19	079.560	-00.771	filamento irregular serpenteante con estructura interna, zona inferior de la región.
20	030.507	-00.301	grumo con punta redondeada, zona derecha de reg. HII.
21	326.705	-00.604	forma de pilar con punta muy curvada, zona lateral izquierda de la región.

nes HII se expanden en el MIE, y en sus bordes, interfaces entre el gas ionizado y molecular, puede generarse el nacimiento de nuevas estrellas. Realizar una búsqueda de burbujas o regiones HII, inspeccionar sus bordes, encontrar y catalogar estructuras en forma de pilares, resulta importante para la investigación del MIE. De esta manera, el trabajo propuesto fue buscar este tipo de estructuras a lo largo de la galaxia, catalogarlas y presentarlas en distintas longitudes de onda. A parte de la utilidad en sí misma de la búsqueda y del aprendizaje que ello genera, conformar una lista de regiones, de las cuales muchas de ellas pueden no haber sido catalogadas previamente, resulta necesario para planear futuras investigaciones. A continuación se presenta la metodología del trabajo y los resultados que este ha generado.

2. Metodología

Utilizando la herramienta ESASKY 5.1.1 desarrollada por la European Space Agency (ESA) y que se encuentra en línea (<https://sky.esa.int/>) se inspeccionaron visualmente diversas regiones de la Galaxia. Se utilizaron imágenes en el infrarrojo cercano y medio y del milimétrico en busca de estructuras interestelares en forma de pilares. Luego de “recorrer” la Galaxia a través de su plano, se seleccionaron 21 regiones y se generó un “catálogo” con sus características principales. Este catálogo, presentado en el poster^{***}, se muestra en la Tabla 1. En la misma, se numeran arbitrariamente las regiones seleccionadas, se incluyen sus coordenadas galácticas, y se incluyen algunos de los comentarios de las apreciaciones hechas por la participante sobre estructuras llamativas de las regiones seleccionadas.

Luego, hacia cada una de estas regiones se adquirieron datos públicos multiespectrales de las bases de datos

^{***}https://drive.google.com/file/d/1jPkcz38K4z3n5LWQfzG0_1RuLYAq73Kx/view

de los siguientes relevamientos:

- Infrarrojo medio. Del relevamiento Galactic Legacy Infrared Mid-Plane Survey Extraordinaire (GLIMPSE) (Benjamin et al., 2003), generado por el satélite *Spitzer*, se obtuvieron datos en 8.0, 4.5, y 3.6 μm , cuya resolución angular es 1''7.
- Submilimétrico. Del relevamiento APEX Telescope Large Area Survey of the Galaxy (ATLASGAL) (Schuller et al., 2009) se obtuvieron datos en continuo submilimétrico a 0.87 mm con una resolución angular de 19''2.
- Continuo de radio. De la base de datos Multi-Array Galactic Plane Imaging Survey (MAGPIS) (Helfand et al., 2006) se obtuvieron datos en continuo de radio a 20 cm con resolución angular de 5''.

Habiendo adquirido el conocimiento del manejo de las bases de datos, se aprendió a trabajar con las imágenes científicas en formato FITS y a manejar el programa SAOimageDS9. Con dicho programa se generaron imágenes compuestas de las emisiones en las distintas longitudes de onda con el objetivo de analizar la física de cada una de las regiones.

3. Resultados

La presentación de los resultados generados en este trabajo la dividimos en una descripción de los resultados estrictamente científicos (Sect. 3.1) y en una presentación de los resultados relacionados a la difusión y enseñanza de la astronomía, incluyendo la “colaboración ciudadana” en el trabajo científico (Sect. 3.2).

3.1. Resultados científicos

Para cada una de las 21 regiones seleccionadas, la participante del proyecto realizó distintos tipos de imágenes combinando las bandas 8, 4.5, y 3.6 μm , el continuo de

radio a 20 cm y la emisión en el submilimétrico a 0.87 mm. En todos los casos se buscó la presencia de pilares, de grupos de polvo frío y regiones de gas ionizado. Como muestra, a continuación se presentan algunas de estas imágenes para ilustrar el trabajo realizado. Adicionalmente, la participante, basándose en la literatura científica que le fue suministrada (capítulos introductorios de tesis desarrolladas en el grupo, por ej. Celis Peña 2019; Areal 2022), analizó información de la física que dichas imágenes aportaban e investigó la posible evidencia de formación estelar.

La Fig. 1 muestra la combinación de las emisiones en 8.0, 4.5 y 3.6 μm (en rojo, verde y azul) hacia una región HII en cuyo interior pueden observarse varias estructuras en forma de pilares.

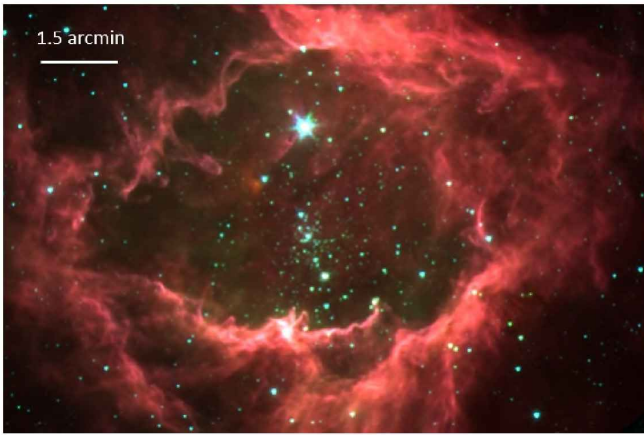


Fig. 1. Combinación de las emisiones en 8.0, 4.5 y 3.6 μm (rojo, verde y azul, respectivamente) de la región ubicada en $l = 269.158$, $b = -01.468$ (región 10 del catálogo presentado en la Tabla 1).

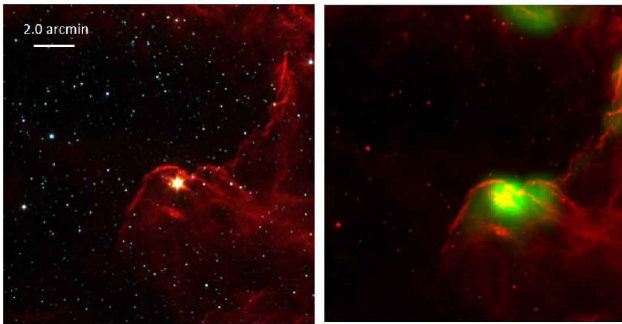


Fig. 2. *Izquierda:* combinación de las emisiones en 8.0, 4.5 y 3.6 μm (rojo, verde y azul, respectivamente). *Derecha:* emisiones en 8.0 μm (rojo) y 0.87 mm (verde). Se observan grupos de polvo frío (ver estructuras representadas en verde). Región ubicada en $l = 6.056$, $b = -01.440$ (región 3 del catálogo presentado en la Tabla 1).

En todos los casos se buscó evidencia de sitios de formación estelar a través de la presencia de grupos de polvo frío, gas ionizado acumulándose en bordes de los pilares y regiones extendidas en 4.5 μm (en verde en las figuras que combinan las emisiones a 8.0, 4.5 y 3.6 μm).

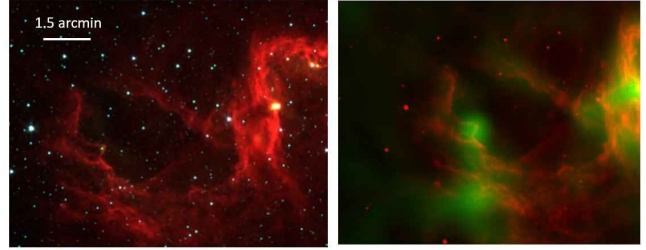


Fig. 3. *Izquierda:* combinación de las emisiones en 8.0, 4.5 y 3.6 μm (rojo, verde y azul, respectivamente). *Derecha:* emisiones en 8.0 μm (rojo) y 0.87 mm (verde). Se observan grupos de polvo frío (ver estructuras en representadas en verde). Región ubicada en $l = 321.148$, $b = -00.528$ (región 14 del catálogo presentado en la Tabla 1).

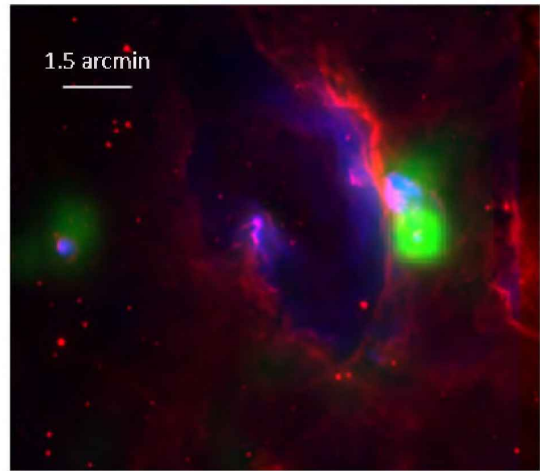


Fig. 4. Combinación de las emisiones en 8.0 μm (rojo), 0.87 mm (verde) y continuo de radio a 20 cm (azul). Se observa una nube de borde brillante con acumulación de gas ionizado (ver pilar interno casi en el centro de la imagen). Región ubicada en $l = 24.850$, $b = 00.085$ (región 6 del catálogo presentado en la Tabla 1).

Los grupos de polvo frío son regiones propicias de formación estelar y se pueden detectar en el espectro submilimétrico. En la Fig. 2 y Fig. 3 se observan en color verde grupos de polvo frío ubicados en los pilares.

Las regiones HII son ionizadas por el campo de radiación de estrellas masivas. El gas ionizado suele detectarse en el continuo de radio, por lo tanto a través de la emisión a 20 cm, buscamos acumulación de gas ionizado en los pilares dentro de las regiones HII (para un ejemplo ver la Fig. 4). Estas regiones, en particular las puntas de los pilares en donde el gas ionizado se acumula y comprime al gas neutro, también son propicias para que se formen nuevas estrellas.

Por otro lado, en ciertas regiones se han observado fuentes extendidas en la banda de 4.5 μm , a las cuales se las conoce como *Extended Green Objects* (EGOs), ya que en las imágenes de GLIMPSE compuestas de tres colores, habitualmente se representa a la banda de 4.5 μm en color verde (ver Cyganowski et al. 2008). Dichos objetos representan estrellas en formación. La Fig. 5 muestra un ejemplo de un EGO encontrado en la punta de un pilar.

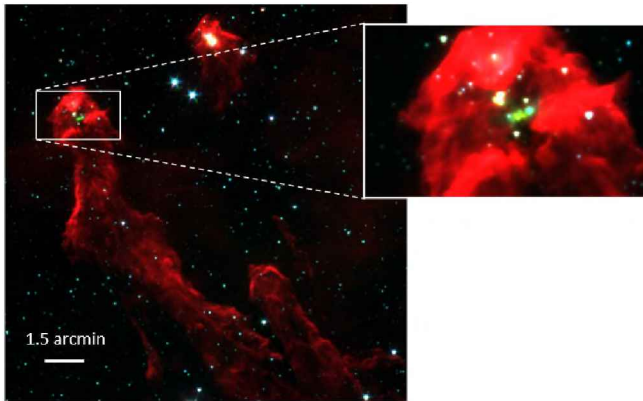


Fig. 5. Combinación de las emisiones en 8.0, 4.5 y 3.6 μm (rojo, verde y azul, respectivamente). En la punta del pilar se observa una región extendida brillante en verde (EGO) marcando una posible estrella en formación. Región ubicada en $l = 79.560$, $b = -00.771$ (región 19 del catálogo presentado en la Tabla 1).

3.2. Resultados de la enseñanza, difusión y “colaboración ciudadana” de la Astronomía

Los resultados de este proyecto piloto de ciencia ciudadana ciertamente fueron superlativos. Por parte de los profesionales científicos se llevó adelante una actividad de enseñanza y difusión de la astronomía, particularmente de su área de investigación, con una gran profundidad, cosa que es muy difícil de alcanzar a través de otras modalidades y en otros ámbitos. Incluso gracias a la excelente comunicación y recepción por parte de la participante se pudieron perfeccionar técnicas en la transmisión de conocimientos científicos. Todo el trabajo realizado por la participante es de gran valor ya que el catálogo de regiones, muchas de ellas muy interesantes, será usado para futuras investigaciones más detalladas.

Desde el punto de vista de la participante, la colaboración en este proyecto ha sido muy enriquecedora, ya que brindó la oportunidad de poder experimentar en primera persona y de la mano de investigadores, cómo se desarrolla la investigación científica en todas sus etapas. Esto es desde el planteo de una hipótesis de trabajo hasta la publicación de los resultados. Este proyecto permite acercar el mundo de la investigación astronómica, que parece alejado, inaccesible y a veces misterioso, a la población general, dando cuenta de que el trabajo en conjunto nos nutre recíprocamente.

4. Conclusiones y trabajo futuro

Partiendo de nuestro convencimiento de que la ciencia es un bien y un quehacer que no debe quedarse puertas

adentro, que su difusión y enseñanza son sumamente necesarias, y que existen muchas personas, sin formación necesariamente científica, que pueden participar con un rol activo en ella, creamos este proyecto que denominamos Ciencia Popular.

En esta experiencia piloto realizada con solo una participante pudimos comprobar la capacidad del grupo de investigación de llevar adelante este tipo de trabajos (testear, evaluar y mejorar el diálogo entre científicos y personas no científicas).

Ha quedado demostrado que los resultados científicos fueron muy valiosos, y mucho más los resultados obtenidos de la interacción en el trabajo. En base a ello, hemos iniciado una segunda etapa en el proyecto de Ciencia Popular en el cual participan cuatro personas investigando la astroquímica de una muestra de 36 regiones de formación estelar. Este trabajo se encuentra en desarrollo y se esperan obtener resultados importantes. Estos resultados no sólo serán comunicados a través de presentaciones y/o artículos sobre difusión y educación de la astronomía, sino también se buscará publicarlos como un artículo científico en revistas especializadas.

En conclusión, estamos convencidos de que trabajos como estos son valiosos para nuestra comunidad científica, ya que generan un diálogo y una interacción con la sociedad muy profundo. En nuestra web se van incluyendo los resultados de este proyecto: <https://interestelariafe.wixsite.com/mediointerestelar/cienciapop>.

Agradecimientos: Se agradece al referee anónimo/a y a la editora por todos los comentarios útiles para mejorar este artículo. El grupo de investigación se encuentra actualmente financiado por los proyectos PIP 2021 11220200100012 y PICT 2021-GRF-TII-00061 otorgados por CONICET y ANPCYT.

Referencias

- Areal M.B., 2022, *Estudio multiespacial y multiespectral de la formación estelar y su impacto en el medio interestelar*, Ph.D. thesis, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- Benjamin R.A., et al., 2003, *PASP*, 115, 953
- Celis Peña M., 2019, *Estudio multiespectral de los procesos físicos y químicos de la formación estelar*, Ph.D. thesis, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- Cyganowski C.J., et al., 2008, *AJ*, 136, 2391
- Helfand D.J., et al., 2006, *AJ*, 131, 2525
- Schuller F., et al., 2009, *A&A*, 504, 415