

# ASTROQUÍMICA: LA QUÍMICA DEL ESPACIO

Solís Portillo Jorge Alejandro (1), Trinidad Hernández Miguel Ángel (2)

1 [Licenciatura en Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala] | Dirección de correo electrónico: [jasp10agosto@gmail.com]

2 [Departamento de Astronomía, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [trinidad@astro.ugto.mx]

## Resumen

La química del espacio es poco usual en comparación a la química terrestre. En el medio interestelar se llevan a cabo una gran variedad de reacciones en fase gaseosa y catalizadas por el polvo espacial. En el presente artículo se estudia la química de la región G5.89-0.39 (W28 A2). Esta es una región H II ultracompacta, considerada un área joven de formación de estrellas. En base a la revisión de bases de datos y la literatura se establecen las moléculas presentes y posibles rutas de reacción para estas. Finalmente, se propone una serie de moléculas las cuales pueden formarse entre dos fuentes de continuo (SMA-N y SMA1) y cerca de la estrella de Feldt, ya que posee las condiciones de temperatura adecuadas y coincide con las observaciones de varios flujos moleculares. Esta región es apta para el estudio de regiones de formación de estrellas masivas y de una estrella joven tipo espectral O.

## Abstract

The chemistry of space is unusual compared to terrestrial chemistry. In the interstellar medium, a large variety of reactions are carried out in the gas phase and catalyzed by the spatial dust. In the present paper the chemistry of the region G5.89-0.39 (W28 A2) is studied. This is an ultra-compact H II region, considered a young area of star formation. Based on the review of databases and literature, the present molecules and possible reaction routes for these were established. Finally, we propose a series of molecules which can be formed between two sources of continuum (SMA-N and SMA1) and near the Feldt's star, since it has the suitable temperature conditions and coincides with the observations of many molecular outflows. This region is suitable for the study of regions of massive star formation and of an O spectral type young star.

### Palabras Clave

Región H II; G5.89-0.39; W28 A2; Flujo molecular; Nubes moleculares

## INTRODUCCIÓN

### *La química en el medio interestelar*

En el medio interestelar las especies químicas presentes indican mucho sobre la edad y propiedades físicas del material espacial. En este también se observan especies poco usuales para la química terrestre. Esto es debido a las bajas temperaturas y alto potencial de ionización del medio interestelar (ISM). Por ejemplo, muchos de los cationes existen en el espacio por que se combinan con electrones libres, cargas deslocalizadas del polvo espacial u otros aniones. [1]. Otro ejemplo de esta anomalía presente en el espacio es la presencia de HCN y su isómero HNC, el cual es inusual en la Tierra. Termodinámicamente es poco posible que se forme, pero en realidad es un proceso cinético que permite la formación de esta especie. Incluso se observa que esta especie existe en mayor proporción que el HCN [2]. De manera poco esperada, se han encontrado moléculas orgánicas complejas en el medio interestelar. (Cianopolinas y fulerenos)

La búsqueda de especies químicas en el ISM es un proceso continuo. En el caso de moléculas sencillas, se pueden calcular teóricamente las transiciones vibracionales y rotacionales para tratar de generar modelos de mejor ajuste a las observaciones provenientes de las regiones de radio e infrarrojo lejano del espectro electromagnético. Otra ruta, es la síntesis de las especies en el laboratorio, detectar su espectro y buscar su emisión en longitudes de onda de radio en el espacio. Debido a que son especies poco estables, son requeridas técnicas especiales de laboratorio para su síntesis [2]. En cuanto a su importancia en el tiempo de formación de la nube molecular, las especies químicas pueden clasificarse según el tiempo de formación. Pueden ser de tiempo tardío o temprano. Aquellas que son de tiempo temprano son menos complejas. Mientras que las de tiempo tardío requieren de las especies de tiempo temprano para poder formarse [1].

### *La Región Ultracompacta H II G5.89-0.39*

Este tipo de regiones están involucradas en la formación de estrellas masivas. En este trabajo se estudia la región ultracompacta HII G5.89-0.39 también reportada como W28 A2. Esta posee una morfología de “cáscara” con un agujero en su centro. En esta región se identifica una estrella (estrella de Feldt); la cual fue determinada inicialmente como de tipo espectral O5 y fue detectada como una fuente del infrarrojo cercano (NIR) [3]. Aunque posteriormente se le ha identificado como una estrella del tipo espectral O8. [4] Esta estrella es primordialmente la fuente de ionización de esta región con una luminosidad de  $217 L_{\odot}$ . La distancia de esta región fue determinada por Motogi et al. siendo de 1.28 Kpc [4]. Otras referencias estiman distancias en un amplio rango de 1.9-3.8 Kpc. Esta región es relativamente joven (600 años) y es una gran oportunidad para el estudio de regiones Ultra compactas H II justo después de su formación [4].

Es preciso conocer la composición química de esta región joven; por lo que en el siguiente artículo se explora la química de la región. Se estudian sus características principales, moléculas presentes y posibles especies que puedan formarse a partir de las observaciones disponibles.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En la siguiente investigación se realizó una revisión bibliográfica sobre la estructura química y las características de la región H II G5.89-0.39. Se consultaron distintas bases de datos entre ellas: The SAO/NASA Astrophysics Data System [5] , SIMBAD Astronomical data base [6] y NIST Chemical Kinetics Database [7] . Basados en las observaciones reportadas se realiza un mapa de la región describiendo los fenómenos principales encontrados en esta y se realiza la propuesta de moléculas que puedan localizarse dentro de esta región. Para las reacciones propuestas se utiliza la base de datos de KIDA (Kinetic Database for Astrochemistry) [8] .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Basados en la consulta bibliográfica se establecen las moléculas presentes en la región. En la Tabla 1 se puede observar las especies encontradas y su intensidad. En una revisión realizada por Thompson y otros [9] se determina que el 50% de las líneas observadas en la región corresponden a moléculas con azufre. (CS, SO, SO<sub>2</sub>, C<sup>34</sup>S y <sup>34</sup>SO). De manera inusual, no se observan moléculas orgánicas pesadas como etil cianuro (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CN), metil formato (HCOOCH<sub>3</sub>) o dimetil éter (CH<sub>3</sub>OCH<sub>3</sub>). Moléculas de este tipo suelen observarse en otras regiones de este tipo y son evidencia de la existencia de química de núcleo caliente.

**Tabla 1: Principales moléculas detectadas en la región incluyendo sus isómeros isotópicos. (K MHz // Kelvin por Mega Hertz)**

Molécula	Intensidad total integrada (K MHz)	Molécula	Intensidad total integrada (K MHz)	Molécula	Intensidad total integrada (K MHz)	Molécula	Intensidad total integrada (K MHz)
CO	<2049.8	CH <sub>3</sub> OH	<300.5	CH <sub>3</sub> CCH	81.0	NO	23.2
SO <sub>2</sub>	<829.2	CS	251.6	H <sub>2</sub> CS	64.8	HNC	13.0
SO	514.9	CN	189.7	SiO	<40.0	OCS	10.8
HCO <sup>+</sup>	462.5	H <sub>2</sub> CO	120.6	CH <sub>3</sub> CN	35.4	HCS <sup>+</sup>	7.9
HCN	<340.6	C <sub>2</sub> H	93.9	HC <sub>3</sub> N	29.1	HNCO	7.2

Utilizando como referencia las múltiples observaciones realizadas en la región se ubican los fenómenos más importantes en un esquema de la región. Como se observa en la Figura 1; múltiples fenómenos ocurren cerca de la estrella de Feldt. Las cruces corresponden a las regiones de polvo submilímetro-milímetro reportadas por Hunter et al. siendo estas SMA1, SMA2, SMA-N, SMA-S y SMA-E [10]. Cabe destacar que los distintos máseres de metanol, amoníaco, hidroxilo y agua ubicados en la región son posibles centros de reacción debido a su alta liberación de energía. Por su parte, el flujo Bry es un indicador cuantitativo de la acreción en estrellas de presecuencia principal (PMS).

Adicionalmente, los flujos moleculares son de gran importancia para la química en los sistemas de formación de estrellas. Se identifican varios flujos de material en la región y estos se representan la Figura 2.

Se destaca el área cercana a la estrella de Feldt; entre SMA1 y SMA-N. Ya que esta área es una región con una considerable concentración de acetonitrilo. El acetonitrilo facilita localizar gas caliente y de alta densidad ya que permite hacer cálculos de la temperatura del gas con una pequeña calibración de las incertidumbres. Es una molécula simétrica que funciona como rotor y emite en múltiples niveles K con una transición específica J con una banda estrecha (0.2 GHz) [11]. Para esta zona se estiman temperaturas de 40 K a 150K [12] (Región en rojo, Figura 2). Estas temperaturas son idóneas para alcanzar la energía de activación de muchas reacciones en el medio interestelar. Así mismo, al coincidir cerca de las regiones SMA1 y SMA-N permite la posibilidad de realizar reacciones catalizadas en los granos del polvo espacial.

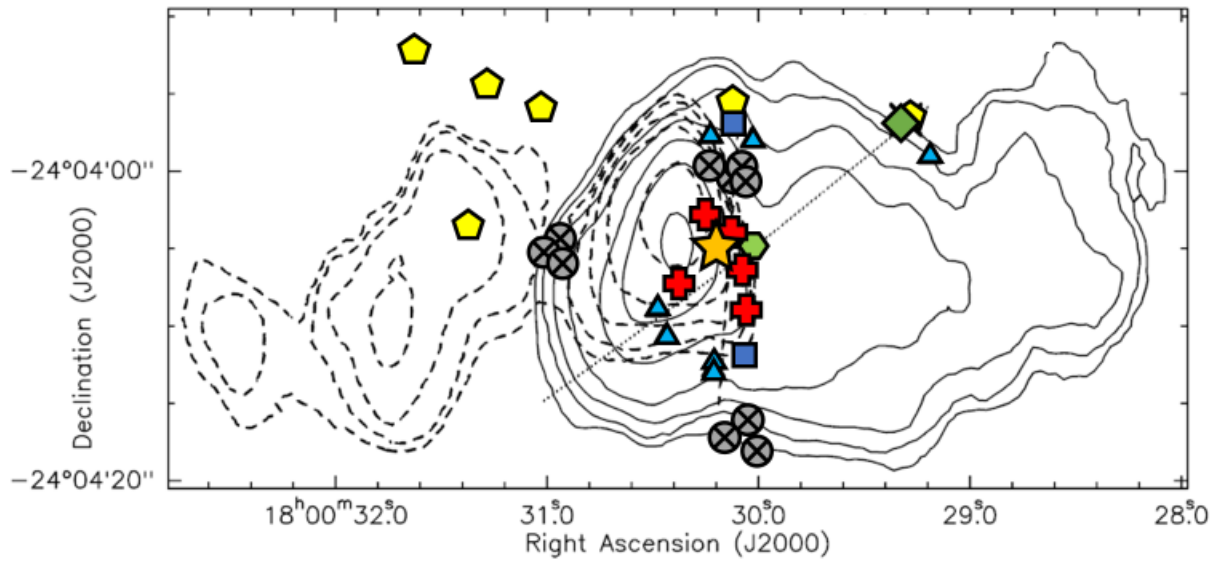


Figura 1: Mapa de la región G5.89-0.39 reportado en Hunter et al., 2008. [10] Mapa de contorno de CO (1-0) donde líneas continuas representan velocidad promedio de 0 a -37 km/s y líneas punteadas representan velocidad promedio +20 a +58 km/s. [13] Estrella (centro) es Estrella de Feldt [3]. Rombo es máser de  $\text{NH}_3$  (3,3) [10]. Pentágonos son máseres clase I de  $\text{CH}_3\text{OH}$  [14]. Triángulos son nudos de  $\text{H}_2$  en el IR-cercano. [15] Hexágono es flujo Bry [15] Cruces son fuentes de polvo a  $875 \mu\text{m}$  [10]. Cuadrados son máseres de  $\text{H}_2\text{O}$  [16]. Círculos con cruz son máseres de OH. Solo se muestran algunas de las fuentes detectadas [17].

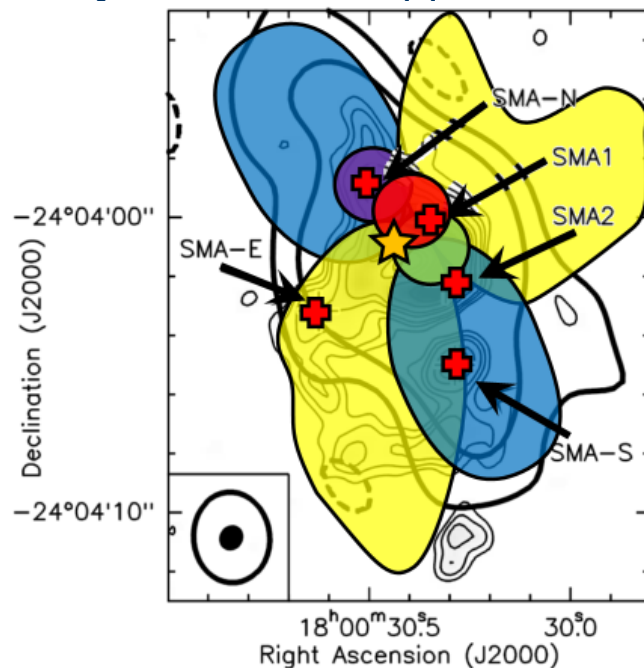
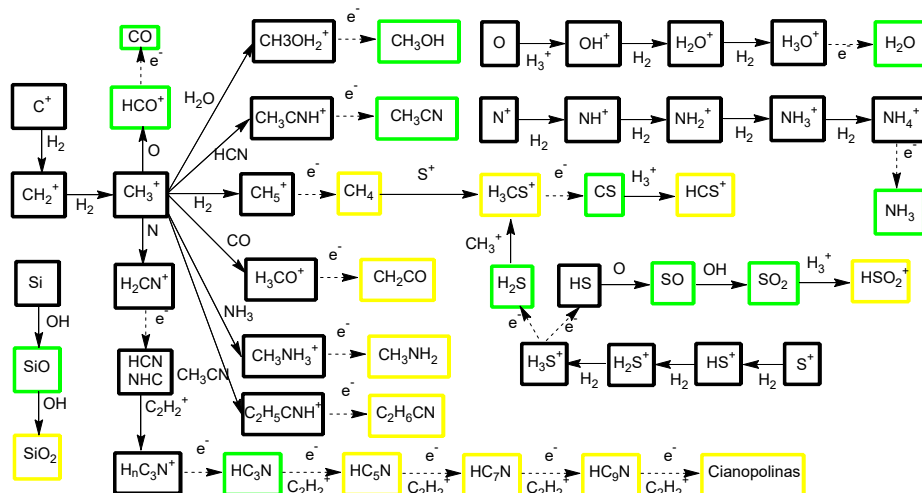


Figura 2: Mapa de la región G5.89-0.39 reportado en Hunter et al., 2008. [10] Cruces son fuentes de polvo a  $875 \mu\text{m}$  [10]. Estrella (centro) es Estrella de Feldt [3]. Región morada, flujo de  $\text{CH}_3\text{OH}$  [10][18]. Región roja, observaciones de  $\text{CH}_3\text{CN}$  [12]. Región verde, flujo de  $^{36}\text{SO}_2$  [18]. Región amarilla, flujos moleculares de velocidad extremadamente alta de CO. [19] Región azul, flujo molecular de SiO. Lóbulo inferior posee corrimiento hacia el azul. Lóbulo superior posee corrimiento hacia el rojo [18]. Se omiten los flujos moleculares de  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HC}_3\text{N}$  y SO [10].

Utilizando la información de la composición química de esta región se procede a estimar las redes químicas para la formación de nuevas especies que no han sido detectadas por baja concentración o que no han podido ser resuelta por superposición de líneas en el espectro detectados en diferentes estudios. Estas reacciones son representadas en la Figura 3.



**Figura 3: Red de reacciones químicas en el medio interestelar en la región G5.89-0.39. Especies en cuadro verde se encuentran reportadas en la literatura. Especies en cuadro amarillo, posibles moléculas propuestas que pueden ser encontradas en la región.**

Cabe destacar que en la región no se encuentran moléculas orgánicas complejas. Pero por la proximidad de los máseres de OH, H<sub>2</sub>O y CH<sub>3</sub>OH (Figura 1); los flujos de CO, SO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>3</sub>OH y HC<sub>3</sub>N (Figura 2) y la presencia de polvo espacial es posible que se formen posteriormente. La detección de un flujo molecular de CH<sub>3</sub>OH, indica la presencia de granos de polvo espacial. Se ha observado que uno de los mecanismos más plausibles para la producción de metanol es la formación en la superficie y su desorción efectiva de los granos de polvo espacial [1]. Como se observa en la Figura 2, esta zona coincide a las cercanías de este “hot-spot” donde se propone mayor actividad química. La detección de CH<sub>3</sub>OH y CH<sub>3</sub>CN advierten la presencia de CH<sub>3</sub><sup>+</sup>. Este catión ejerce un rol importante en la formación de moléculas orgánicas. Por lo que en la interacción de este catión con otras moléculas neutras disponibles se propone la existencia de CH<sub>2</sub>CO, CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>CN. En sectores libres de fuentes con oxígeno y abundancia de hidrógeno se propone que el carbono sea reducido a metano. A su vez, la existencia de un flujo de HC<sub>3</sub>N indica la posibilidad de la formación de cianopolinas de distintas longitudes de cadena. Es muy probable que la formación de estos polímeros se vea termodinámicamente favorecidos en el medio espacial donde reacciones con baja energía de activación son llevadas a cabo. En cuanto a las especies de silicio, como se observa en la Figura 1 y 2, estas se encuentran cercanas a la estrella principal y a fuentes de OH. Aunque este flujo no proviene de la estrella ya que posee una edad dinámica de 1600 años en comparación de los 600 años para esta región ultra-compacta H II [18]. Se propone la oxidación del SiO a SiO<sub>2</sub> siendo este último contribuyente de los silicatos del polvo espacial de esta región.

Considerando lo anterior, es recomendable utilizar modelado 3D para hacer una representación de la morfología de la región y representar la ubicación de los máseres y flujos moleculares que se encuentran. El uso del programa Blender para ilustración científica y visualización de datos astronómicos ha sido descrita por Kent [20]. Esto, permitiría observar el traslape en las zonas de los diferentes fenómenos y basándose a la presencia de las diferentes moléculas, establecer redes químicas más precisas para los diferentes sectores de la región.

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo se estudia la química de la región G5.89-0.39 (W28 A2), la cual posee abundancia alta de moléculas azufradas, moléculas simples de carbono (CO, CH<sub>3</sub>OH y CH<sub>3</sub>CN), silicio y nitrógeno. Se destaca la zona cercana a las regiones SMA-N y SMA1 y la estrella de Feldt, ya que posee temperaturas adecuadas para la formación posterior de especies más complejas. Se propuso una serie de moléculas complejas considerando los precursores disponibles. De igual forma, se hace énfasis que esta es una región cercana la cual es apta para el estudio de la formación de estrellas masivas, el estudio de un objeto espectral tipo O y la evolución de flujos moleculares y máseres.

## AGRADECIMIENTOS

Se le agradece a la Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado de la Universidad de Guanajuato por la oportunidad de participar en el Verano de Investigación Científica 2018. Así mismo, al personal del Departamento de Astronomía de la Universidad de Guanajuato por su apoyo. Al asesor Miguel Ángel Trinidad por su importante apoyo durante este proceso. Finalmente, a los compañeros de las diferentes modalidades de verano los cuales fueron gran ayuda en esta investigación. (Carlos Arroyo, Fabiola Herrera, Felipe Damian, Diana Cedillo, Ramiro Girón, Víctor García)

## REFERENCIAS

- [1] M. Agúndez and V. Wakelam, (2013) "Chemistry of dark clouds: Databases, networks, and models," *Chem. Rev.*, vol. 113, no. 12, pp. 8710–8737,
- [2] S. Charley, P. Ehrenfreund, and Y. J. Kuan, (2003) "Molecules in space," *Phys. World*, vol. 16, no. 10, pp. 35–38.
- [3] M. Feldt, E. Puga, R. Lenzen, T. Henning, W. Brandner, B. Stecklum, A.-M. Lagrange, E. Gendron, and G. Rousset, (2003) "Discovery of a Candidate for the Central Star of the Ultracompact H ii Region G5.89-0.39," *Astrophys. J.*, vol. 599, no. 2, pp. L91–L94.
- [4] K. Motogi, K. Sorai, A. Habe, M. Honma, H. Kobayashi, and K. Sato, (2011) "New distance and revised natures of high-mass star formation in G5.89-0.39," *Publ. Astron. Soc. Japan*, vol. 63, no. 1, pp. 31–44.
- [5] Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO), "The SAO/NASA Astrophysics Data System." [Online]. Available: <http://adswww.harvard.edu/>.
- [6] Université de Strasbourg/CNRS, "SIMBAD Astronomical Database - CDS (Strasbourg)." [Online]. Available: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>.
- [7] NIST, "NIST Chemical Kinetics Database." [Online]. Available: <https://kinetics.nist.gov/kinetics/index.jsp>.
- [8] Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux, Observatoire Aquitain des Sciences de l'Univers, and University of Virginia, "KIDA Kinetic Database for Astrochemistry." [Online]. Available: <http://kida.obs.u-bordeaux1.fr/>.
- [9] I. A. Ghz, M. A. Thompson, and G. H. Macdonald, (1999) "The chemistry of the massive outflow source G5. 89 - 0. 39," *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, vol. 546, pp. 531–546.
- [10] T. R. Hunter, C. L. Brogan, R. Indebetouw, and C. J. Cyganowski, (2008) "Subarcsecond Submillimeter Imaging of the Ultracompact H ii Region G5.89-0.39," *Astrophys. J.*, vol. 680, no. 2, pp. 1271–1288.
- [11] V. Hernández-Hernández, L. Zapata, S. Kurtz, and G. Garay, (2014) "Sma millimeter observations of hot molecular cores," *Astrophys. J.*, no. 1.
- [12] Y. N. Su, S. Y. Liu, K. S. Wang, Y. H. Chen, and H. R. Chen, (2009) "The hot and clumpy molecular cocoon surrounding the ultracompact H II region G5.89-0.39," *Astrophys. J.*, vol. 704, no. 1 PART 2, pp. 5–9.
- [13] C. Watson, E. Churchwell, E. G. Zweibel, and R. M. Crutcher, (2007) "The Bipolar Outflow Toward G5. 89-0 . 39," *Astrophys. J.*,
- [14] S. Kurtz, P. Hofner, and C. V. Alvarez, (2004) "A Catalog of CH<sub>3</sub>OH 70–61 A+ Maser Sources in Massive Star-forming Regions," *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, vol. 155, no. 1, pp. 149–165.
- [15] E. Puga, M. Feldt, C. Alvarez, T. Henning, D. Apai, E. Le Coarer, A. Chalabaev, and B. Stecklum, (2006) "Outflows, Disks, and Stellar Content in a Region of High-Mass Star Formation: G5.89-0.39 with Adaptive Optics," *Apj*, vol. 641, no. 1988, pp. 373–382.
- [16] P. Hofner and E. Churchwell, (1996) "A survey of water maser emission toward ultracompact HII regions," *Astron. Astrophys.* vol. 120,...
- [17] D. P. Stark, W. M. Goss, E. Churchwell, V. L. Fish, and I. M. Hoffman, (2007) "Vlba Observations of G5.89-0.39 : OH Masers and Magnetic Field Structure," *Astrophys. J.*, vol. 656, no. 2004, pp. 943–951.
- [18] P. K. Sollins, T. R. Hunter, J. Battat, H. Beuther, P. T. P. Ho, J. Lim, S. Y. Liu, N. Ohashi, T. K. Sridharan, Y. N. Su, J.-H. Zhao, and Q. Zhang, (2004) "Mapping the Outflow from G5.89-0.39 in SiO J = 5 → 4," *Astrophys. J.*, vol. 616, no. 1, pp. L35–L38.
- [19] Y. N. Su, S. Y. Liu, H. R. Chen, and Y. W. Tang, (2012) "The extremely high velocity outflow from the luminous young stellar object G5.89-0.39," *Astrophys. J. Lett.*, vol. 744, no. 2, pp. 0–5.
- [20] B. R. Kent, (2013) "Visualizing Astronomical Data with Blender," *Publ. Astron. Soc. Pacific*, vol. 125, no. 928, pp. 731–748.