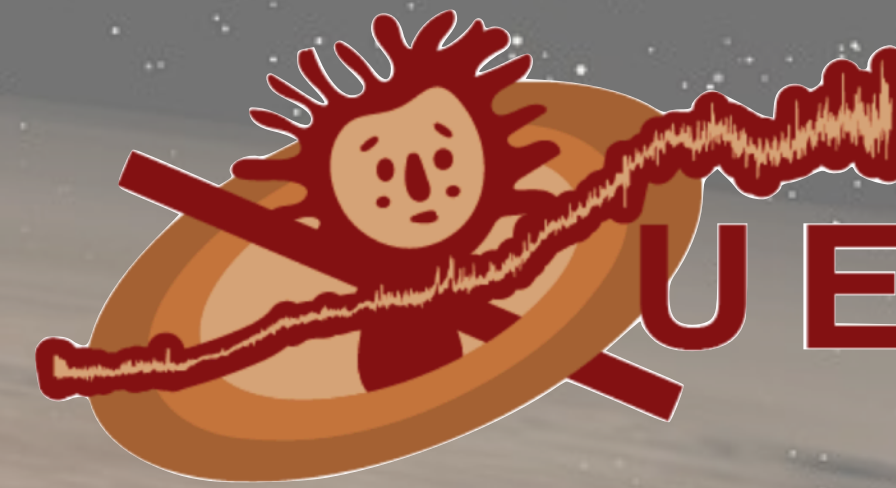




UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Formación y presencia de estructuras moleculares y cristalinas en la región de NGC6357

María Alejandra Lemus Nemocón^{1*}, María Claudia Ramírez-Tannus², Mario Armando Higuera Garzón¹

¹Observatorio Astronómico Nacional de Colombia, Universidad Nacional de Colombia

²Max-Planck-Institut für Astronomie

Miércoles, 20 de noviembre del 2024
VIII Congreso Colombiano de Astronomía

CONTENIDO

01

Introducción

02

Metodología y Resultados

03

Conclusiones

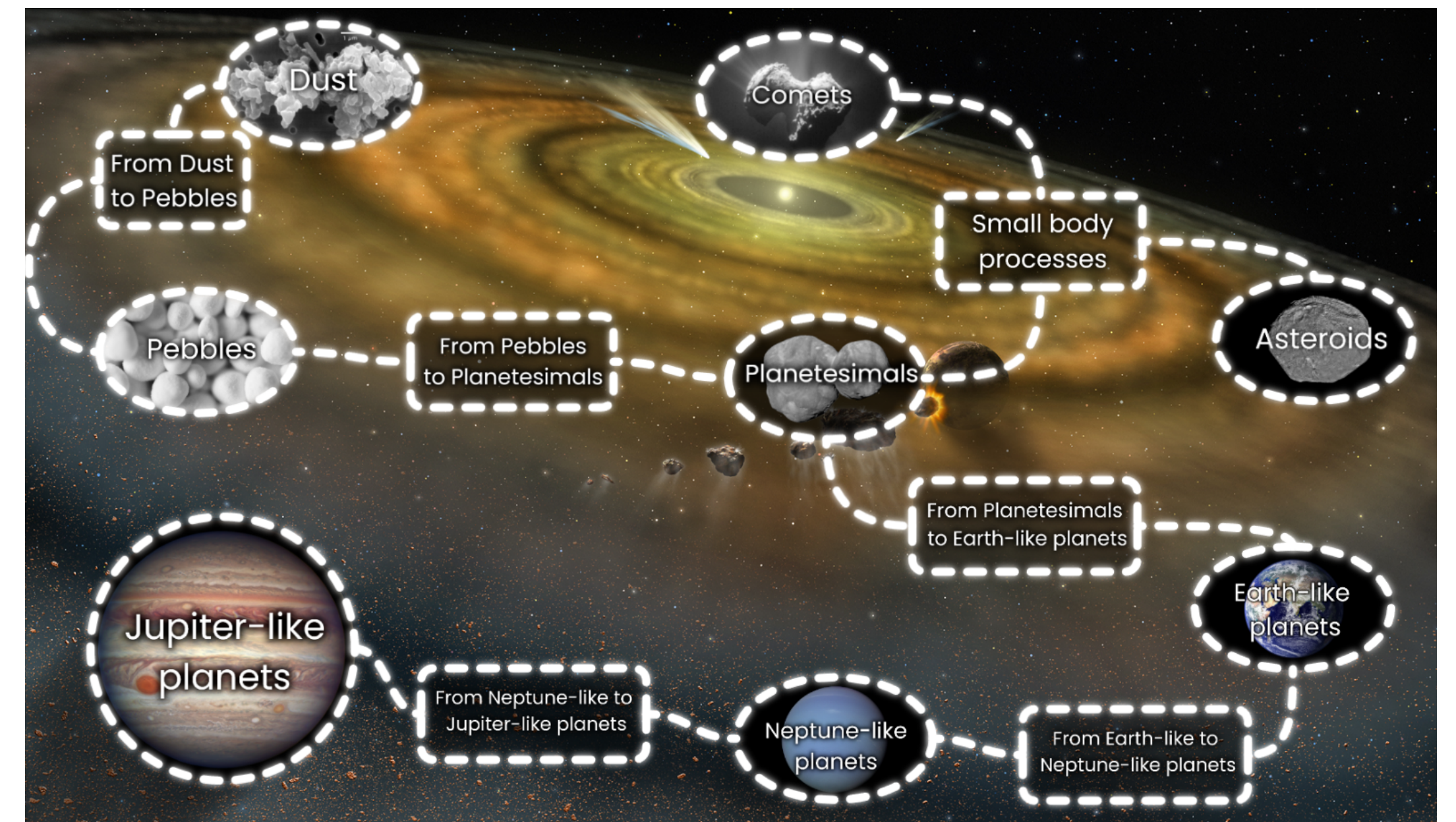
04

Agradecimientos

Polvo en los discos protoplanetarios

Importancia

- Constituye el material fundamental para construir los planetas rocosos y los núcleos de los planetas gigantes¹.
- Comprender el proceso evolutivo de los planetas rocosos².



Tomado de: <https://www.tu-braunschweig.de/en/igep/research/planet-formation>

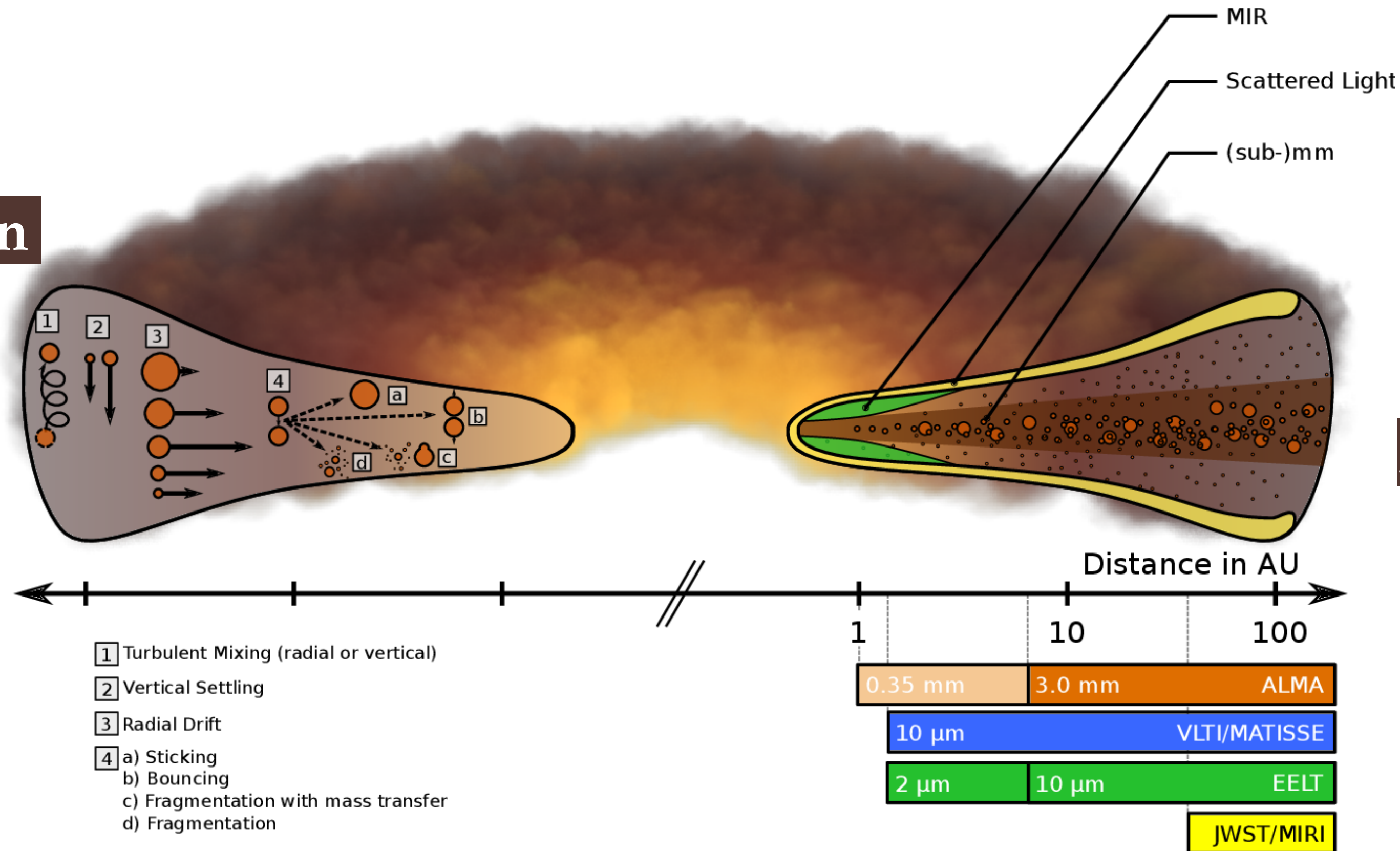
¹H. Jang et al. “Spatial distribution of crystalline silicates in protoplanetary disks: How to interpret mid-infrared observations”. In: *Astronomy & Astrophysics* (May 2024). Manuscript no. main, ESO, arXiv:2405.00375 [astro-ph.EP].

²H. Jang et al. “Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations”. In: *Astronomy & Astrophysics* (2024). eprint: arXiv:2408.16367.

Polvo en los discos protoplanetarios

Importancia

Mecanismos de transporte y colisión de los granos¹



Longitudes de onda utilizadas para estudiar el polvo¹

Tomado de: Testi, L. (2014)¹.

¹Testi, L., Birnstiel, T., Ricci, L., Andrews, S., Blum, J., Carpenter, J., Dominik, C., Isella, A., Natta, A., Williams, J. P., & Wilner, D. J. (2014). Dust evolution in protoplanetary disks. *arXiv:1402.1354*. <https://arxiv.org/pdf/1402.1354>

Polvo en los discos protoplanetarios

Ejemplos de especies mineralógicas



Tomado de: https://mineriaenlinea.com/rocas_y_minerales/enstatita/



Tomado de: <https://www.mineralesweb.es/silicat/forsteri.htm>

Especie	Banda (μm)
Enstatita (MgSiO_3)	9.2, 9.8, 14-15
Forsterita (Mg_2SiO_4)	11.0, 11.9, 23
Fayalita ($(\text{Fe}^{2+})_2\text{SiO}_4$)	23-24
Troilita (FeS)	23-24



Tomado de: <https://mundo-mineral.blogspot.com/2011/10/fayalita.html>

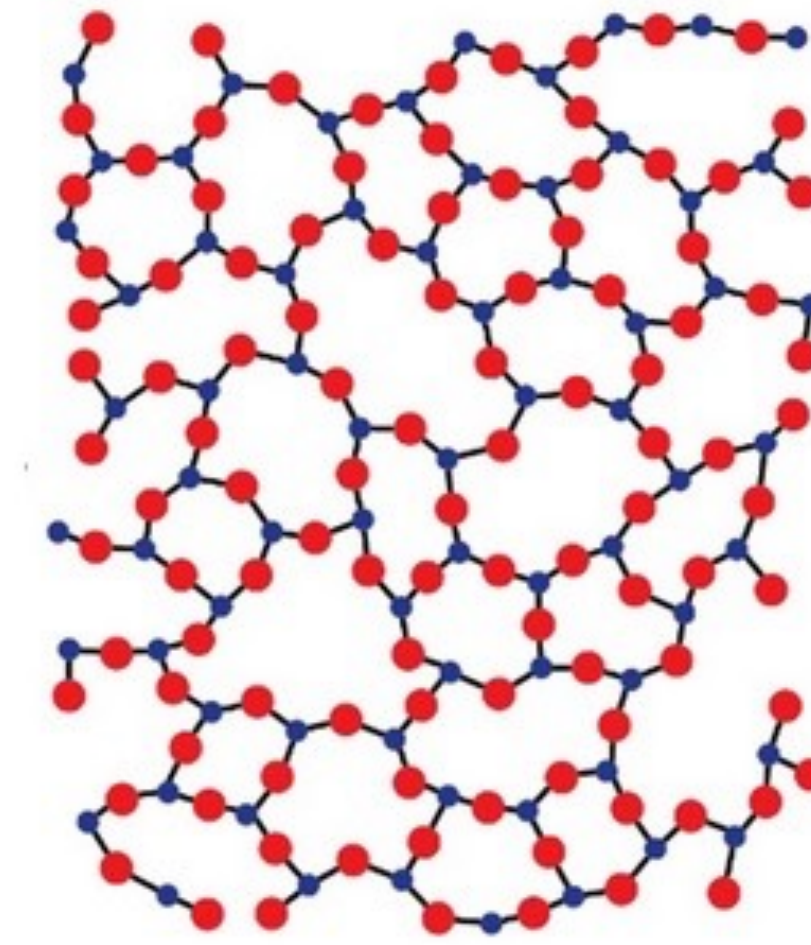


Tomado de: <https://www.ecured.cu/Troilita>

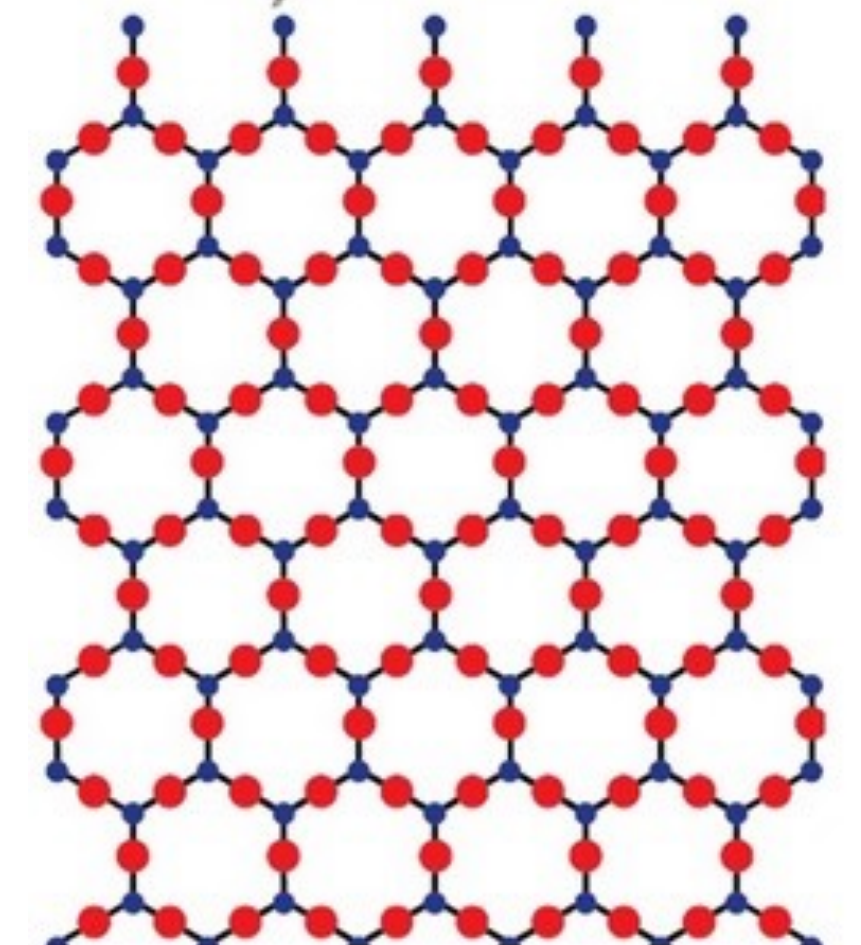
Polvo en los discos protoplanetarios

Silicatos

- Silicatos son el material predominante tanto en el medio interestelar como en los discos protoplanetarios¹.
- Silicatos en el medio interestelar son generalmente amorfos¹.
- Silicatos cristalinos se han observado en regiones específicas (cometas del sistema solar, partículas de polvo interplanetario y discos protoplanetarios)².



Amorfo



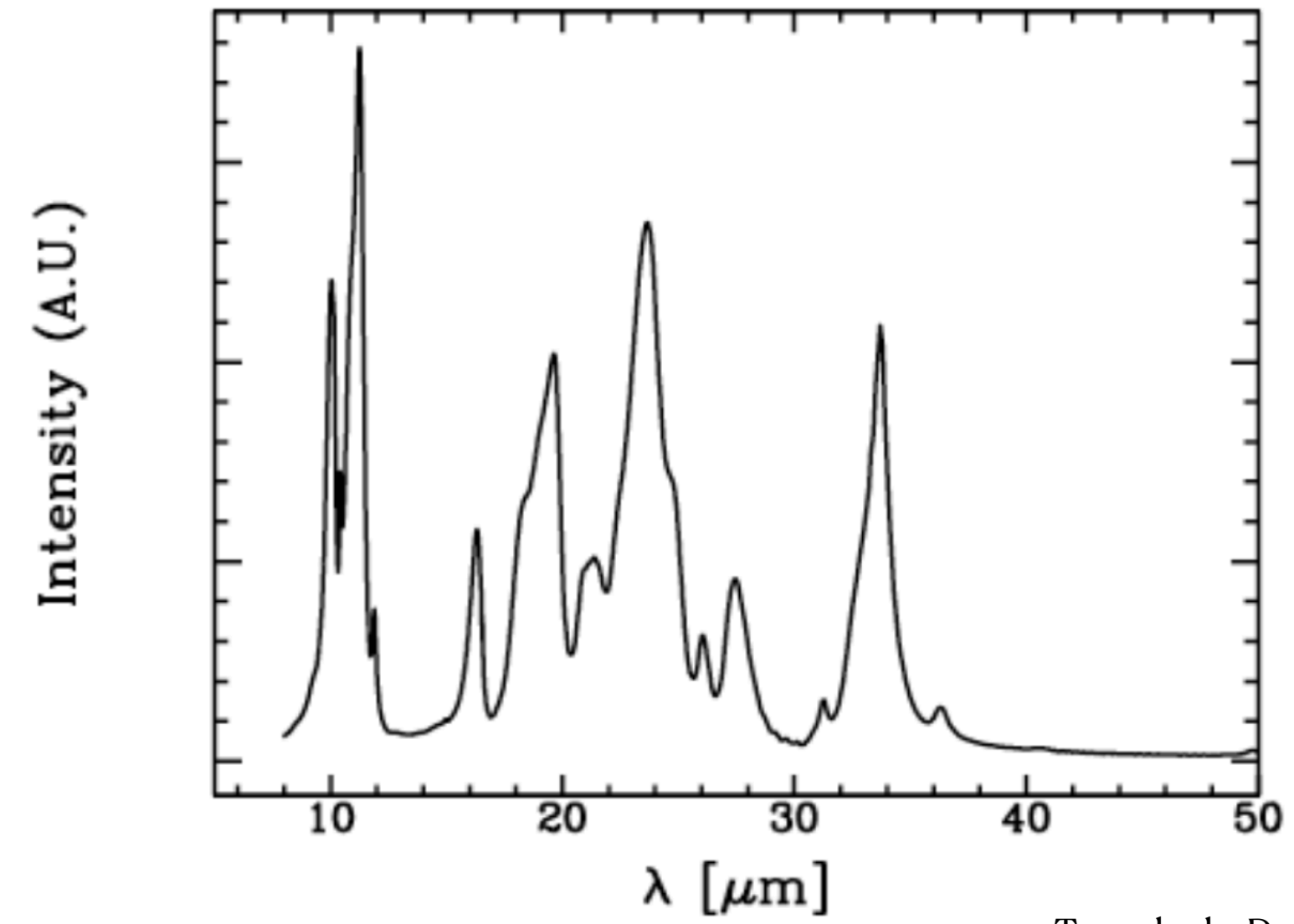
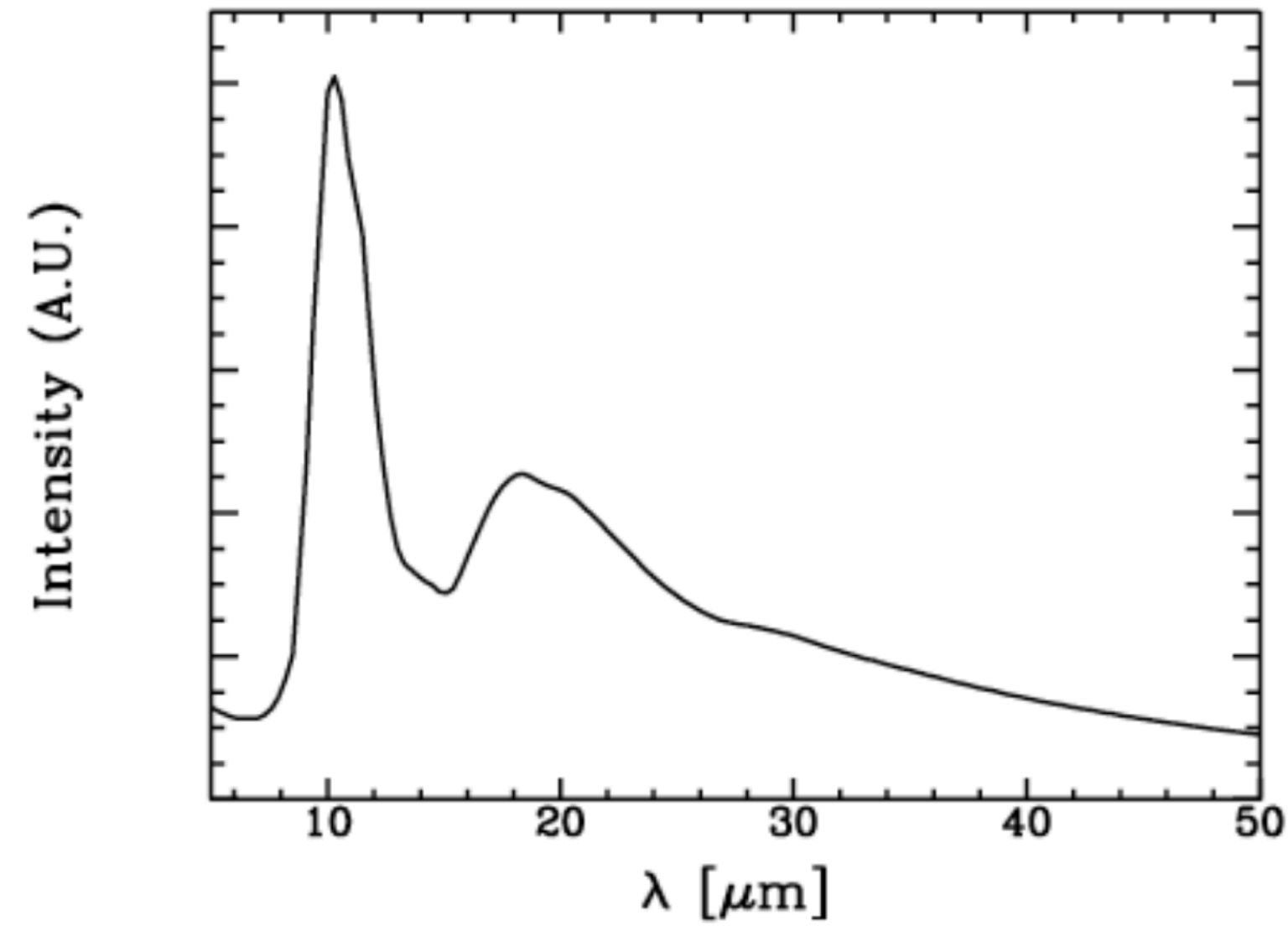
Cristalino

¹H. Jang et al. “Spatial distribution of crystalline silicates in protoplanetary disks: How to interpret mid-infrared observations”. In: *Astronomy & Astrophysics* (May 2024). Manuscript no. main, ESO, arXiv:2405.00375 [astro-ph.EP].

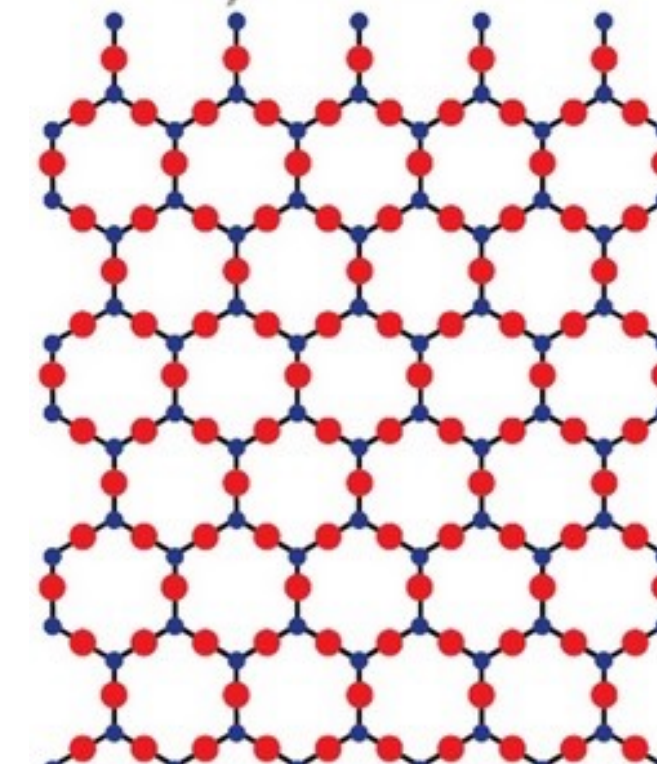
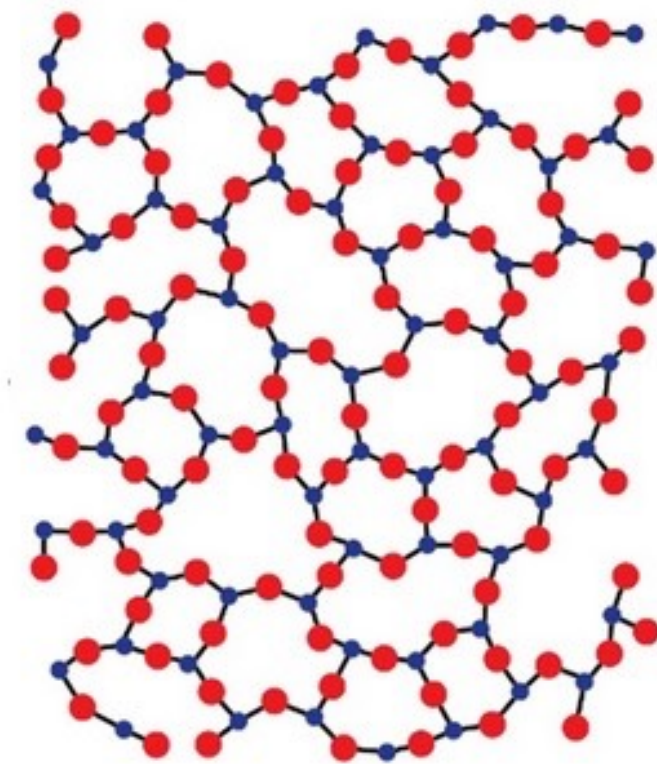
²H. Jang et al. “Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations”. In: *Astronomy & Astrophysics* (2024). eprint: arXiv:2408.16367.

Polvo en los discos protoplanetarios

Amorfo vs Cristalino



Tomado de: De Koter, A. (versión 1.04.10)¹.

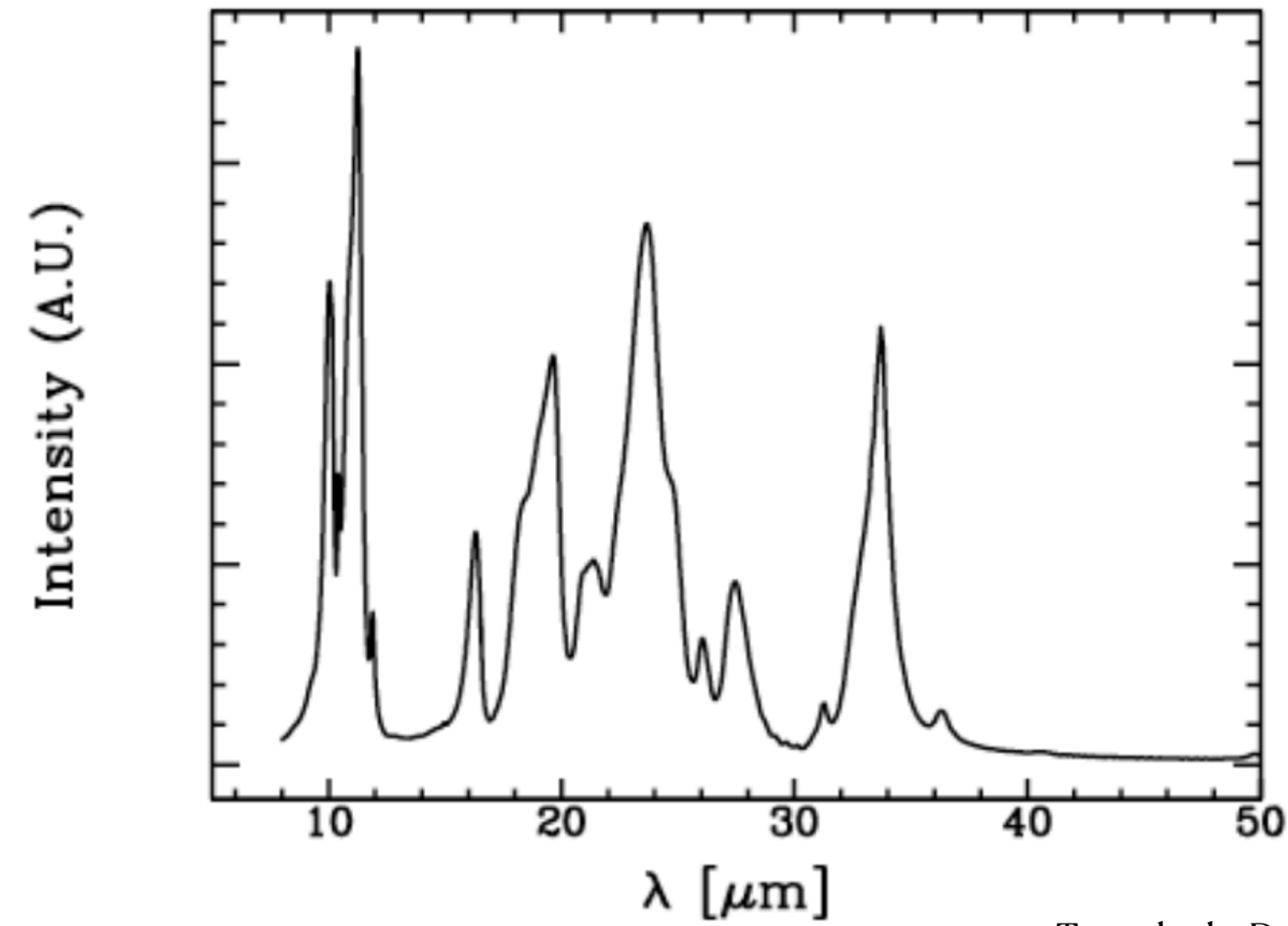
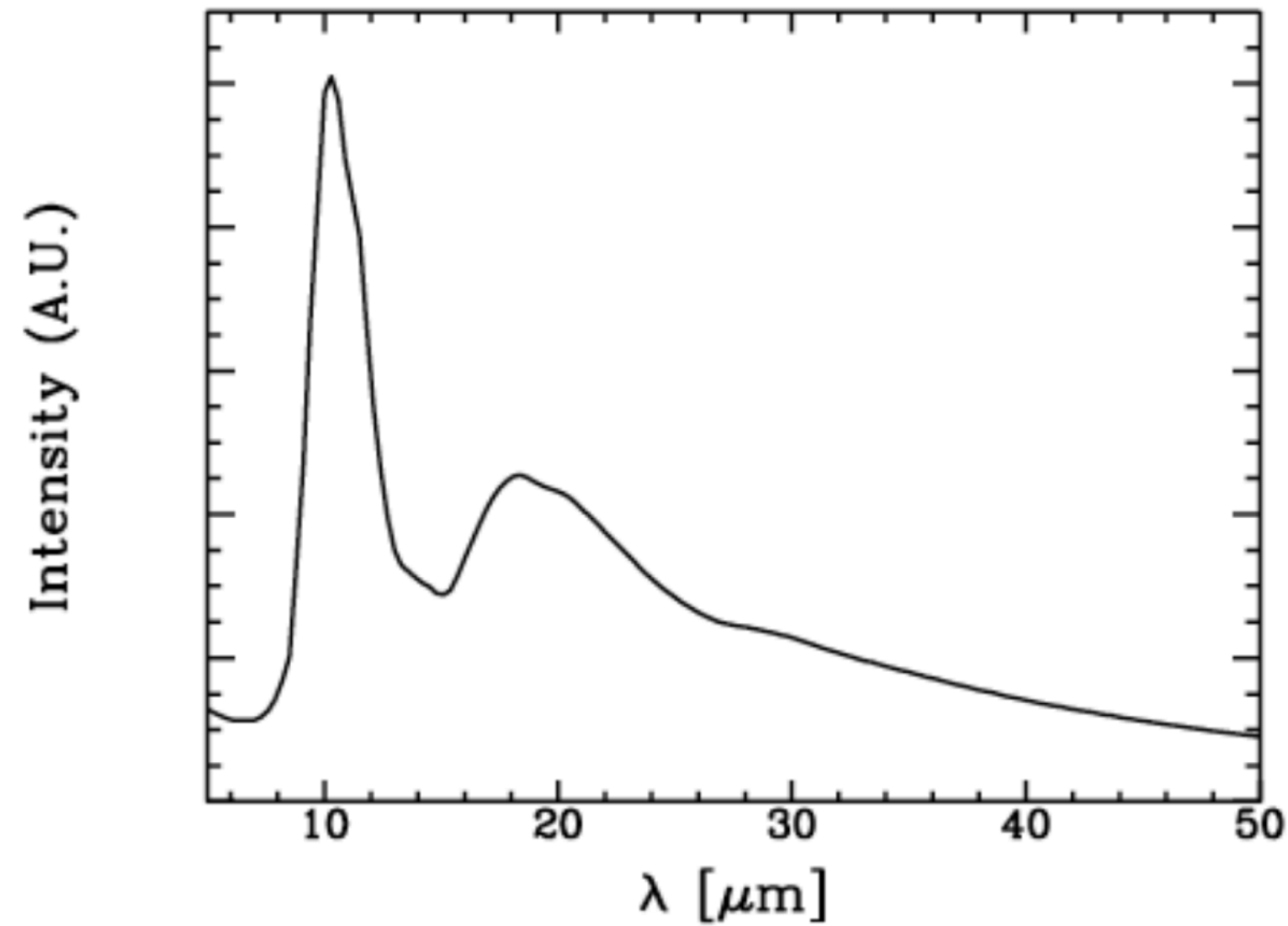


¹De Koter, A. (versión 1.04.10). *The Interstellar Medium*. Astronomical Institute Anton Pannekoek, University of Amsterdam & Instituut voor Sterrenkunde, KU Leuven

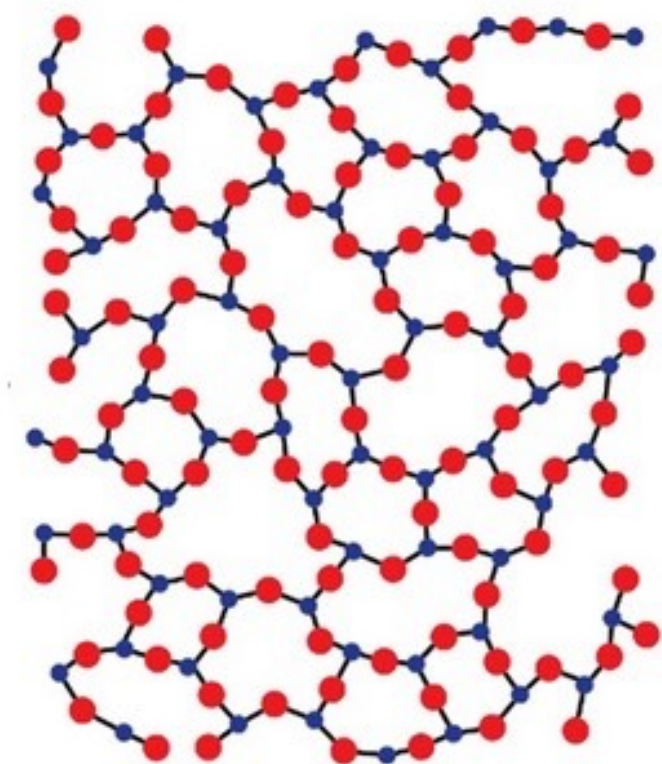
²H. Jang et al. "Spatial distribution of crystalline silicates in protoplanetary disks: How to interpret mid-infrared observations".

Polvo en los discos protoplanetarios

Amorfo vs Cristalino

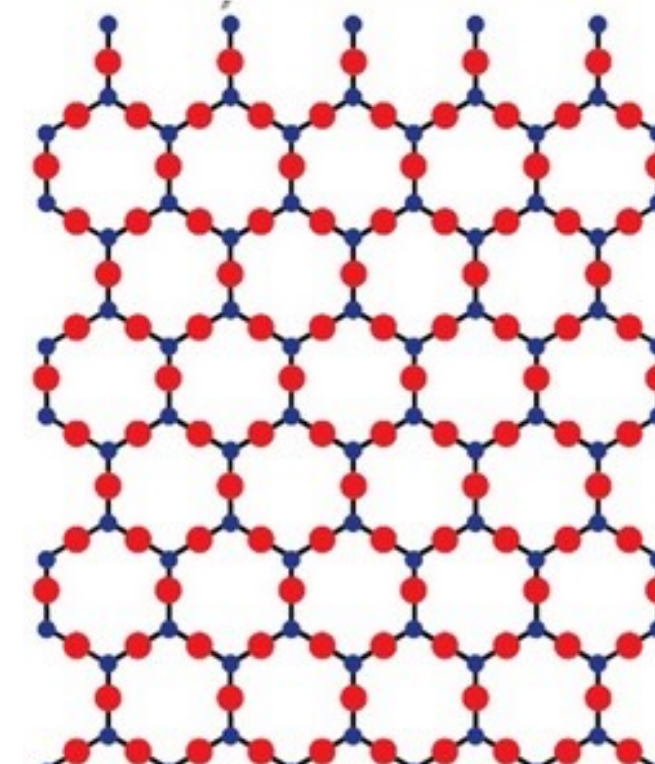


Tomado de: De Koter, A. (versión 1.04.10)¹.



1. Condensación en fase gaseosa²

2. Recocido térmico a alta temperatura²

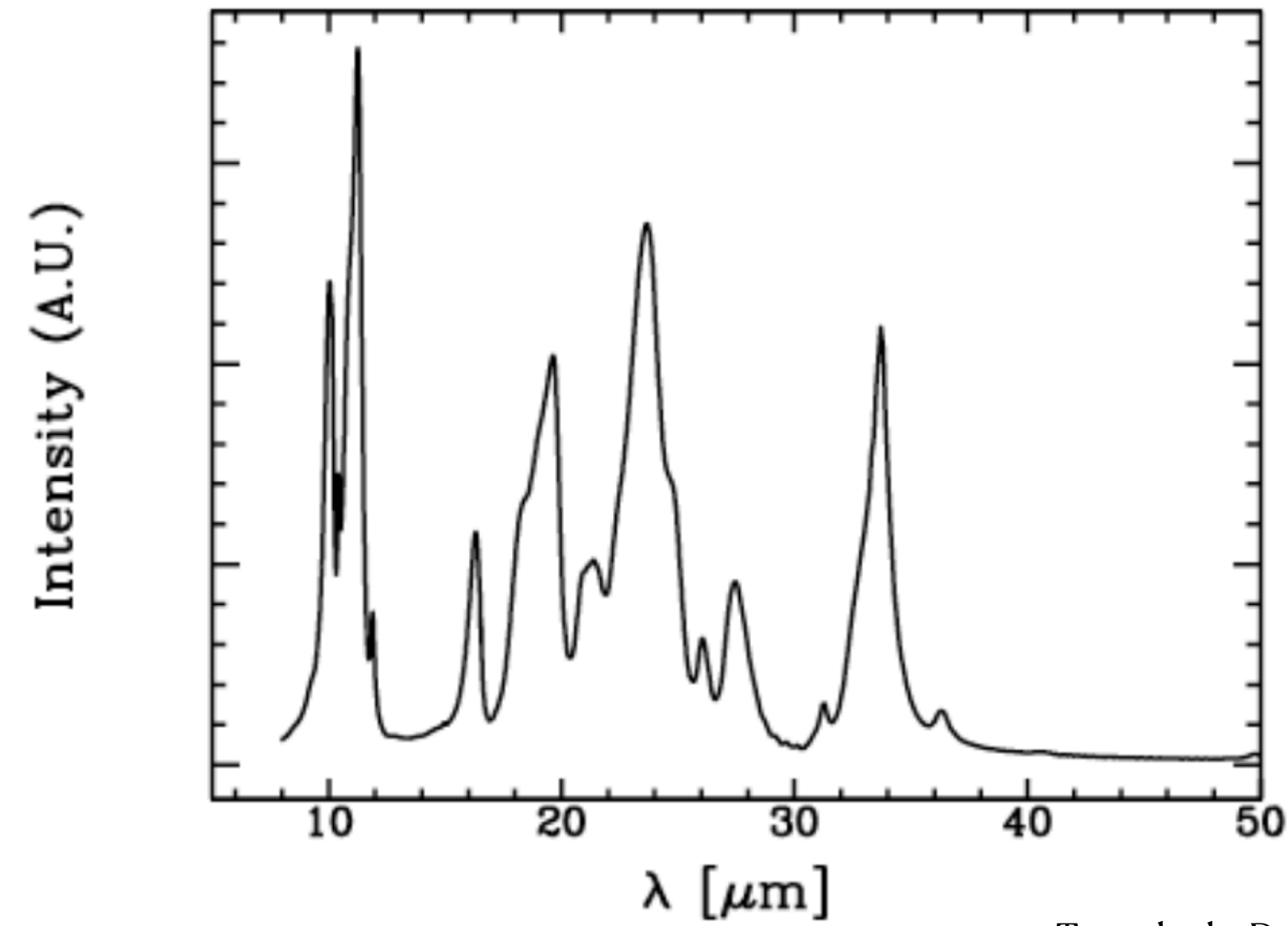
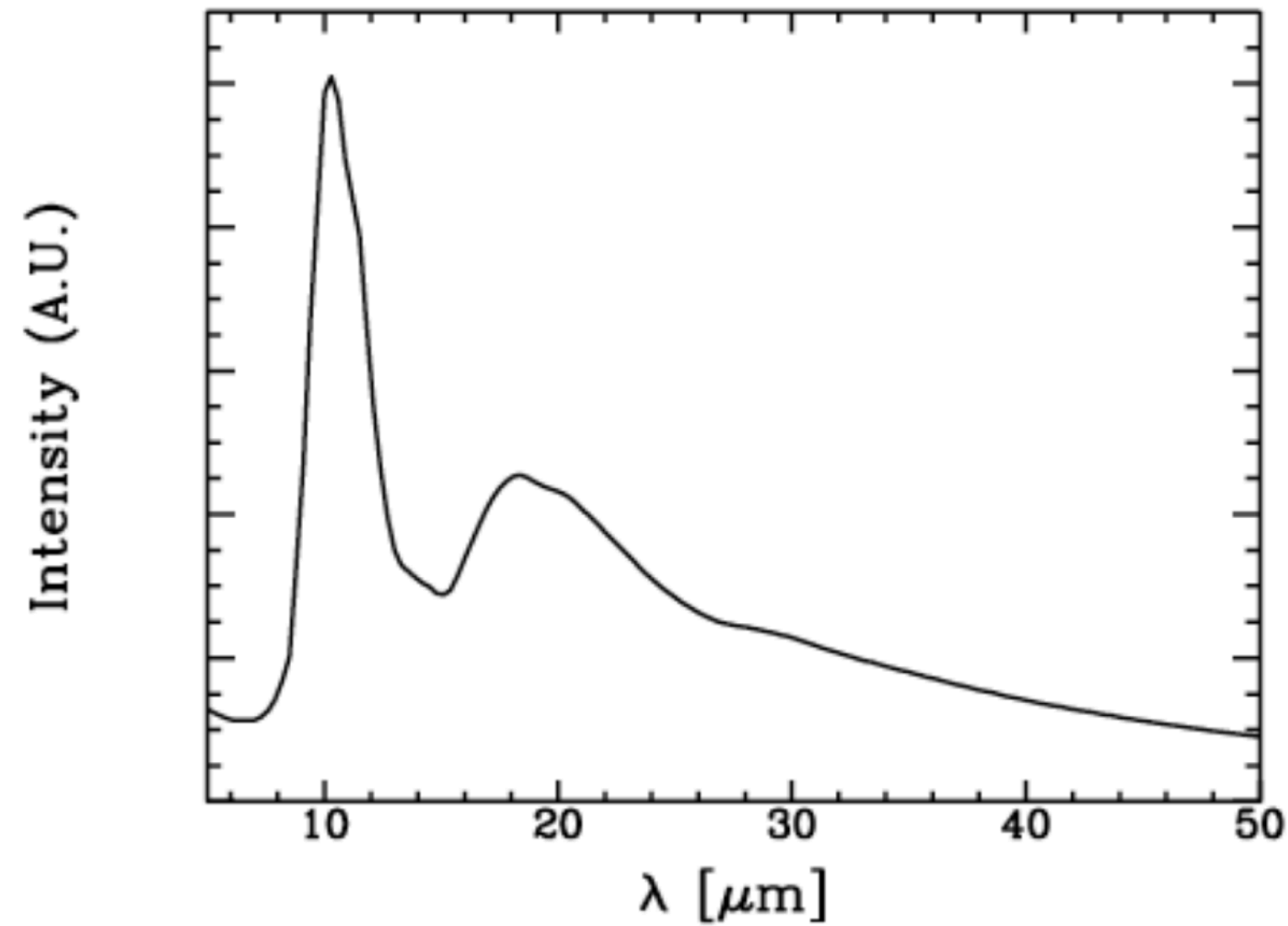


¹De Koter, A. (versión 1.04.10). *The Interstellar Medium*. Astronomical Institute Anton Pannekoek, University of Amsterdam & Instituut voor Sterrenkunde, KU Leuven

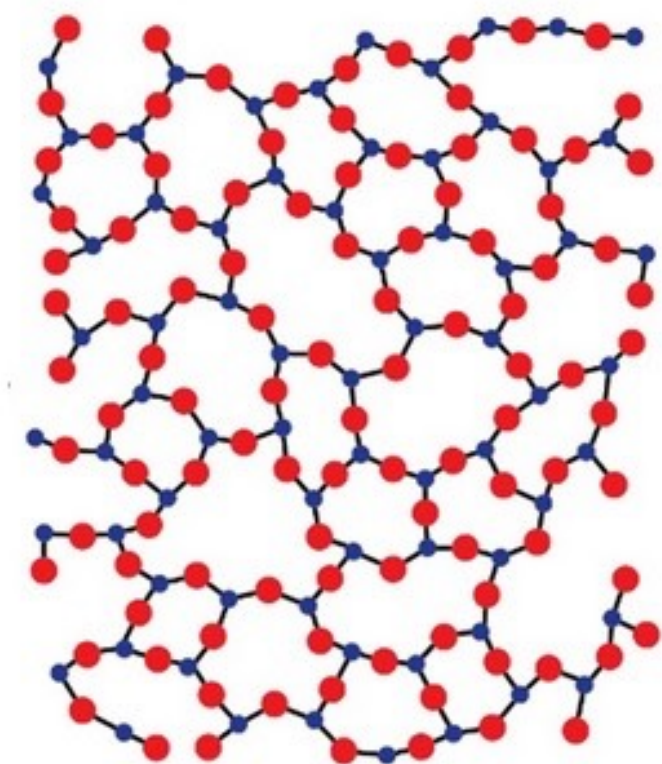
²H. Jang et al. "Spatial distribution of crystalline silicates in protoplanetary disks: How to interpret mid-infrared observations".

Polvo en los discos protoplanetarios

Amorfo vs Cristalino

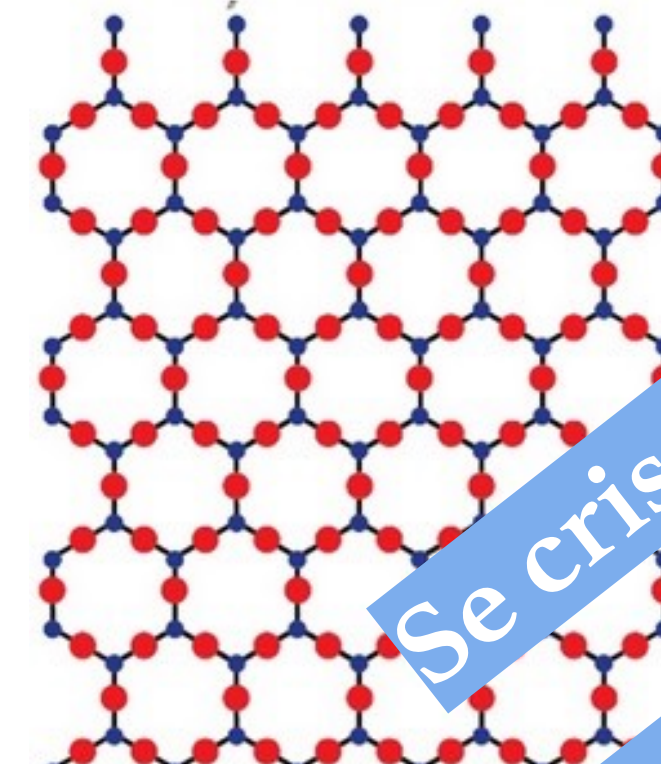


Tomado de: De Koter, A. (versión 1.04.10)¹.



1. Condensación en fase gaseosa²

2. Recocido térmico a alta temperatura²



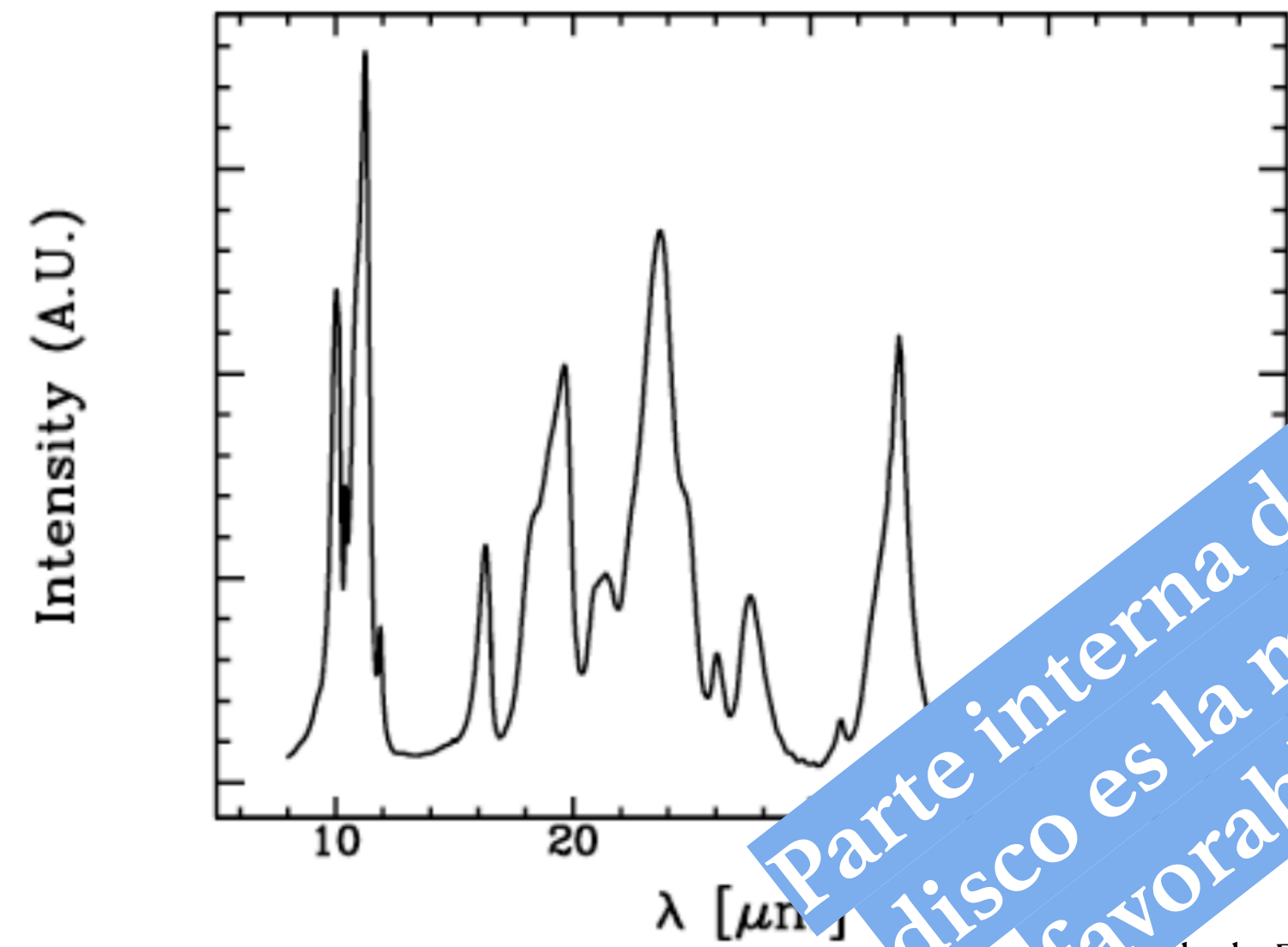
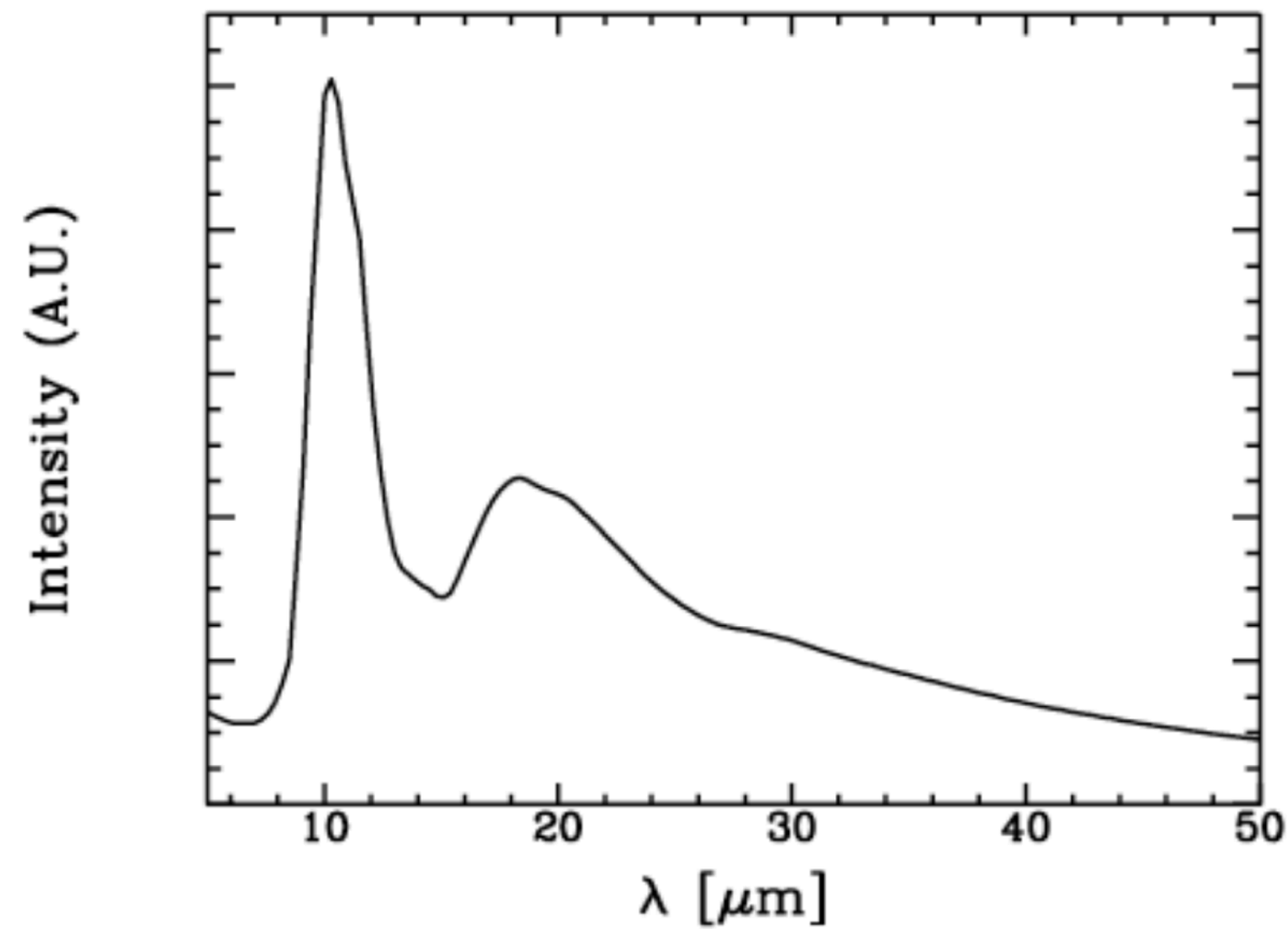
Se cristalizan en los discos protoplanetarios

¹De Koter, A. (versión 1.04.10). *The Interstellar Medium*. Astronomical Institute Anton Pannekoek, University of Amsterdam & Instituut voor Sterrenkunde, KU Leuven

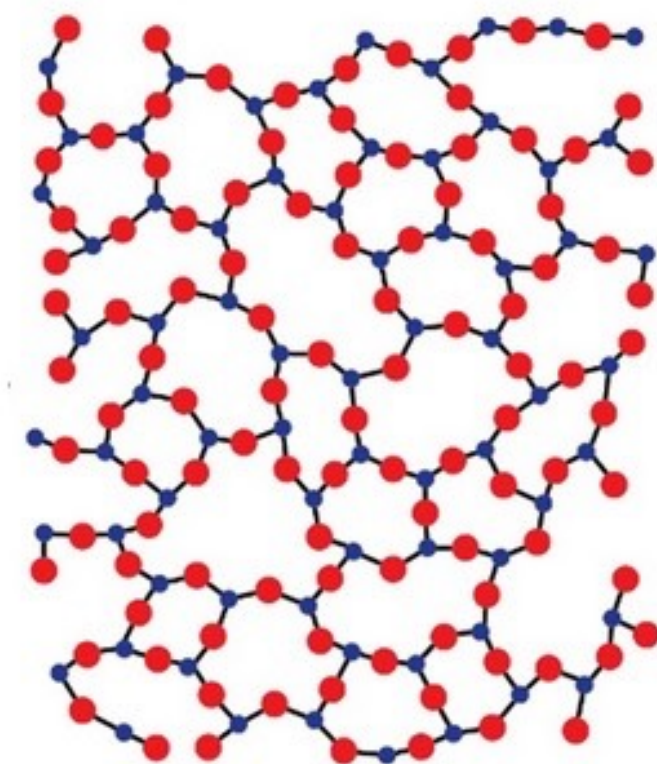
²H. Jang et al. "Spatial distribution of crystalline silicates in protoplanetary disks: How to interpret mid-infrared observations".

Polvo en los discos protoplanetarios

Amorfo vs Cristalino

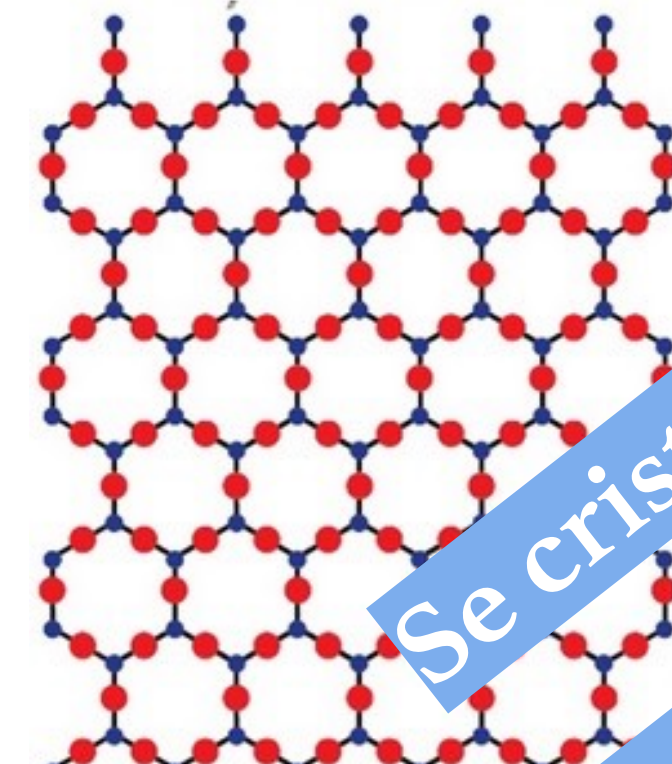


Parte interna del disco es la más favorable



1. Condensación en fase gaseosa²

2. Recocido térmico a alta temperatura²



Se cristalizan en los discos protoplanetarios

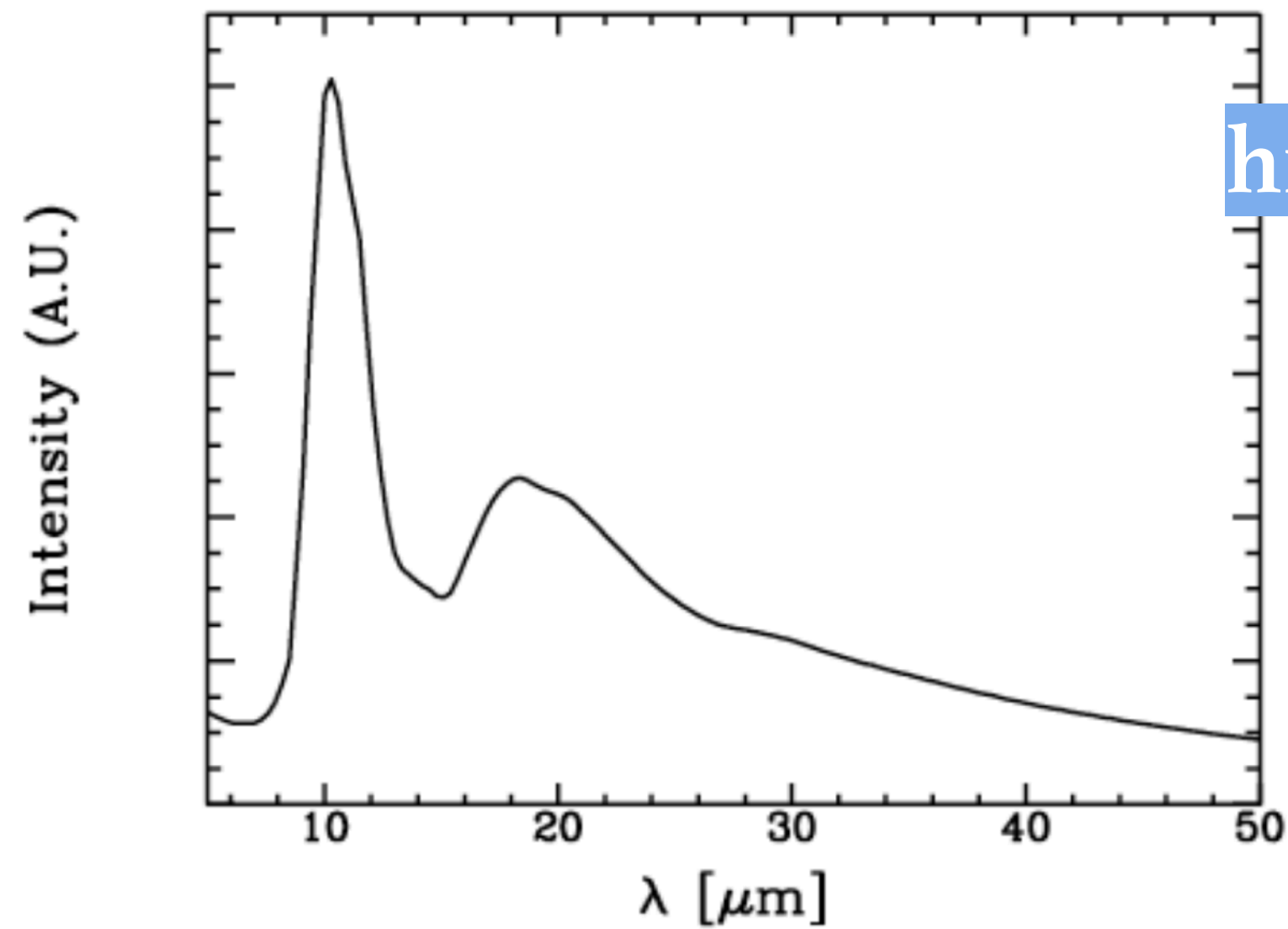
Adaptado de: De Koter, A. (versión 1.04.10)¹.

¹De Koter, A. (versión 1.04.10). *The Interstellar Medium*. Astronomical Institute Anton Pannekoek, University of Amsterdam & Instituut voor Sterrenkunde, KU Leuven

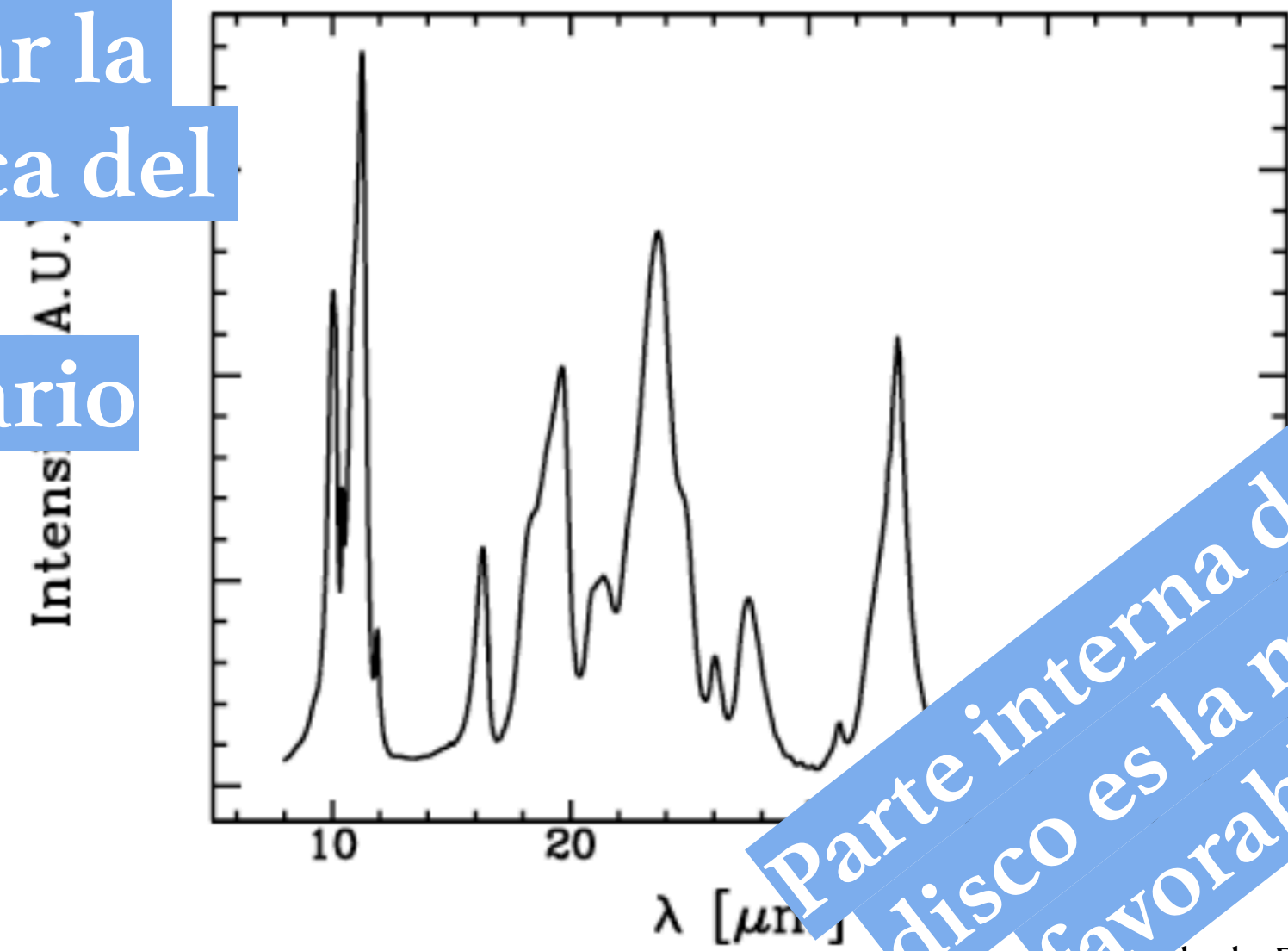
²H. Jang et al. "Spatial distribution of crystalline silicates in protoplanetary disks: How to interpret mid-infrared observations".

Polvo en los discos protoplanetarios

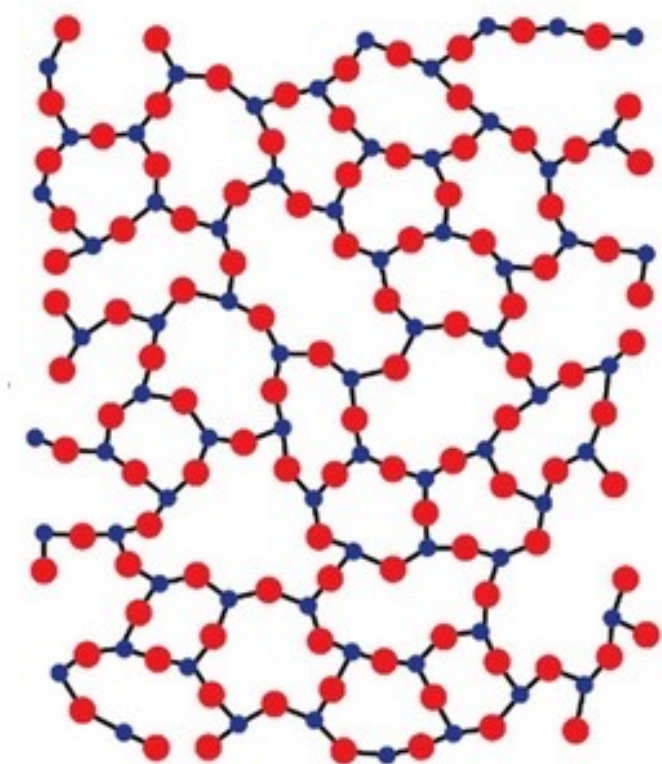
Amorfo vs Cristalino



Permite trazar la historia térmica del disco protoplanetario

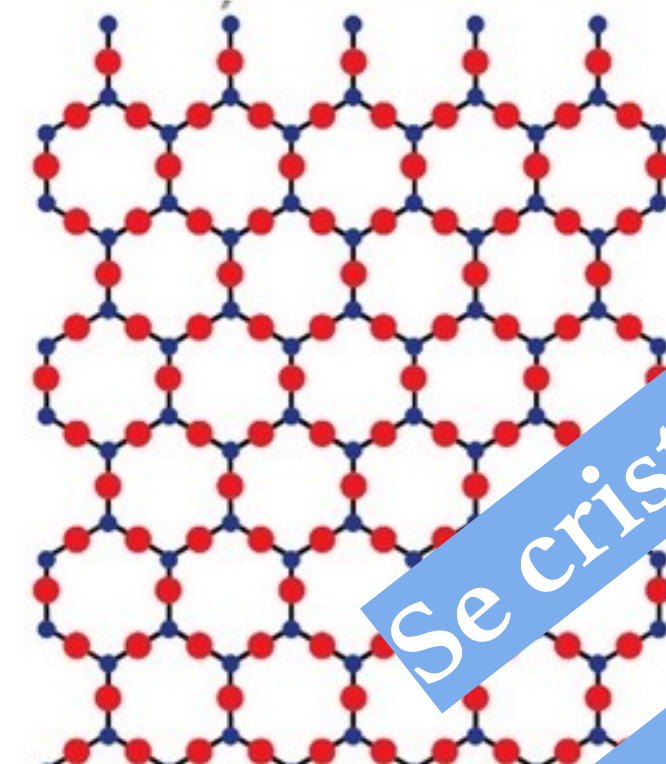


Parte interna del disco es la más favorable



1. Condensación en fase gaseosa²

2. Recocido térmico a alta temperatura²



Se cristalizan en los discos protoplanetarios

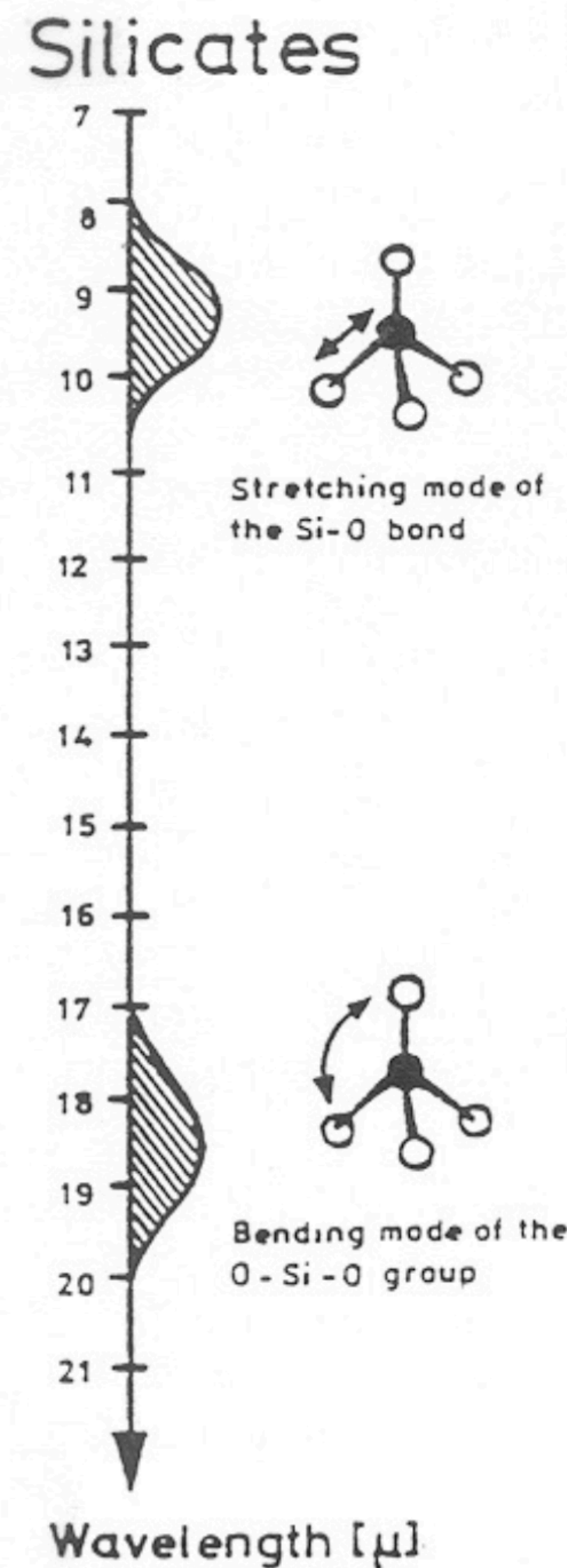
Adaptado de: De Koter, A. (versión 1.04.10)¹.

¹De Koter, A. (versión 1.04.10). *The Interstellar Medium*. Astronomical Institute Anton Pannekoek, University of Amsterdam & Instituut voor Sterrenkunde, KU Leuven

²H. Jang et al. "Spatial distribution of crystalline silicates in protoplanetary disks: How to interpret mid-infrared observations".

Polvo en los discos protoplanetarios

Detección



Tomado de: De Koter, A. (versión 1.04.10)¹.

En el IR medio los granos de polvo son los principales contribuyentes al espectro de emisión¹

Se pueden detectar gracias a sus resonancias vibracionales, que se pueden observar en las formas de las opacidades de cada especie²

Son sensibles a la composición química y a la temperatura²

¹De Koter, A. (versión 1.04.10). *The Interstellar Medium*. Astronomical Institute Anton Pannekoek, University of Amsterdam & Instituut voor Sterrenkunde, KU Leuven

²H. Jang et al. "Spatial distribution of crystalline silicates in protoplanetary disks: How to interpret mid-infrared observations".

Estudio del polvo

JWST-MIRI

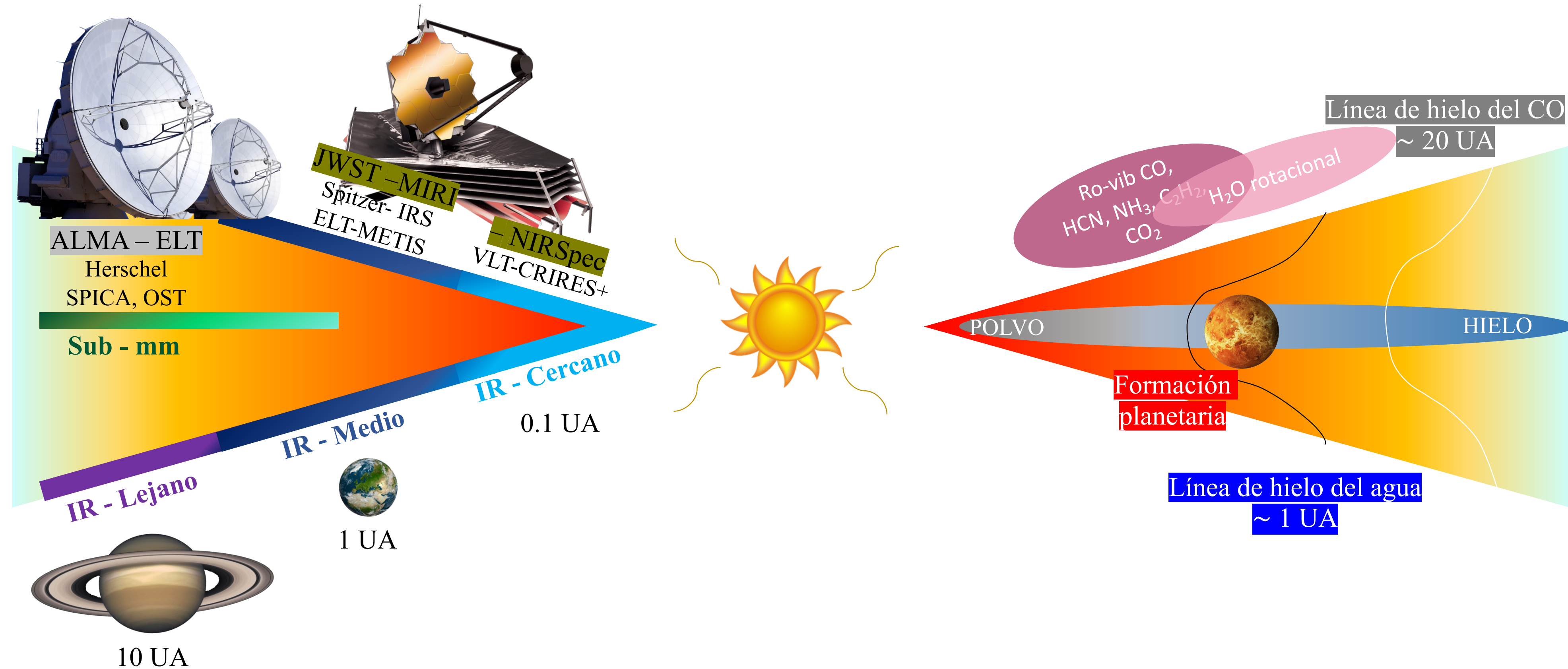


Figura 1. Descripción general de los instrumentos utilizados para observar las diferentes partes de los discos protoplanetarios, así como los procesos físicos y químicos más relevantes que ocurren¹.

¹Dishoeck, E.F., & Bergin, E.A. (2020). Astrochemistry associated with planet formation. *arXiv: Earth and Planetary Astrophysics*. <https://arxiv.org/pdf/2012.01472.pdf>

Estudio del polvo

JWST-MIRI

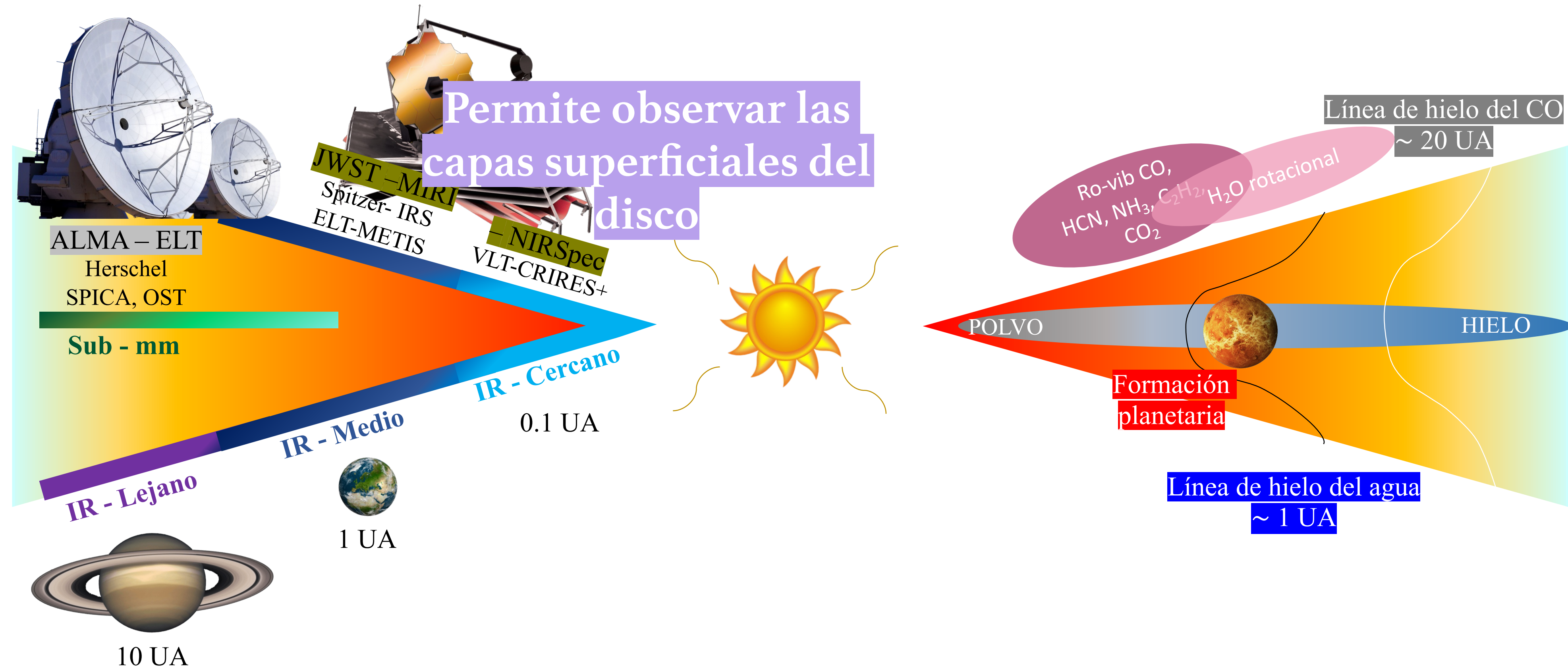


Figura 1. Descripción general de los instrumentos utilizados para observar las diferentes partes de los discos protoplanetarios, así como los procesos físicos y químicos más relevantes que ocurren¹.

¹Dishoeck, E.F., & Bergin, E.A. (2020). Astrochemistry associated with planet formation. *arXiv: Earth and Planetary Astrophysics*. <https://arxiv.org/pdf/2012.01472.pdf>

Estudio del polvo

JWST-MIRI

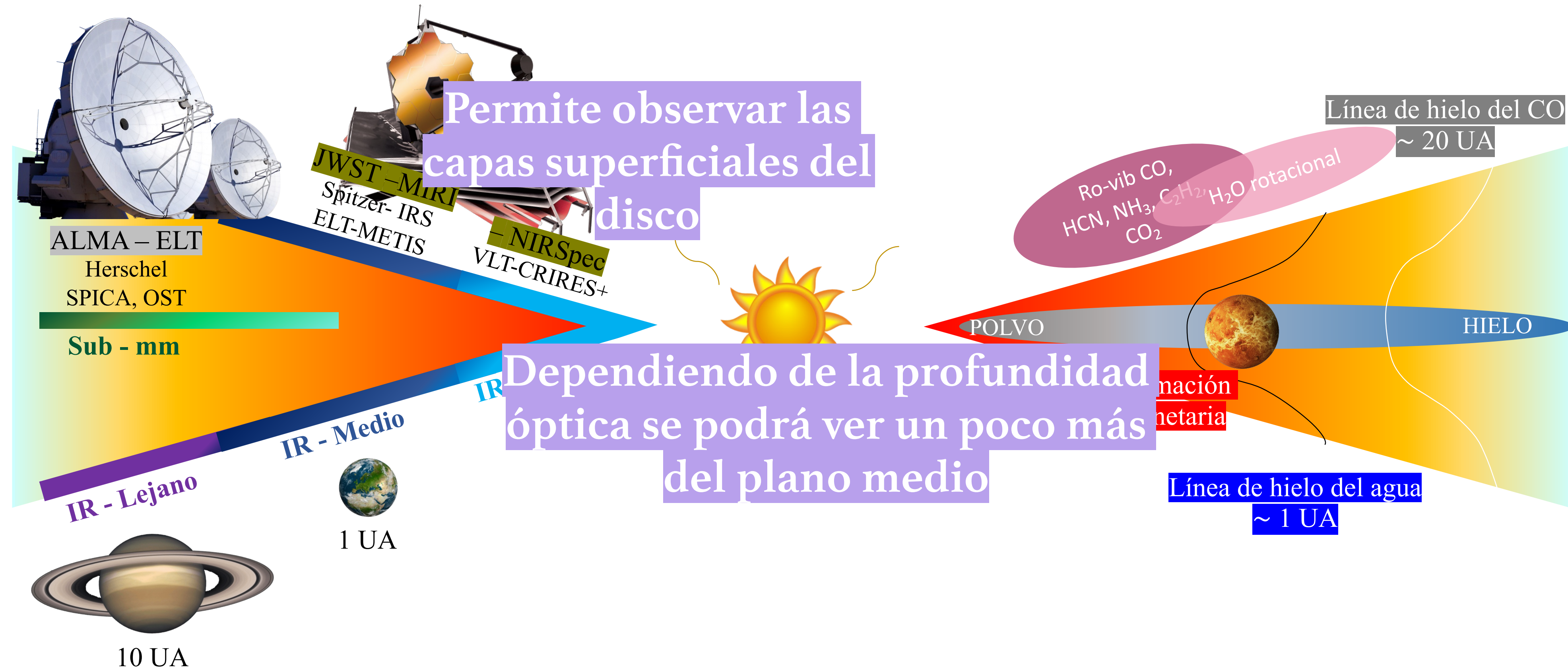


Figura 1. Descripción general de los instrumentos utilizados para observar las diferentes partes de los discos protoplanetarios, así como los procesos físicos y químicos más relevantes que ocurren¹.

¹Dishoeck, E.F., & Bergin, E.A. (2020). Astrochemistry associated with planet formation. *arXiv: Earth and Planetary Astrophysics*. <https://arxiv.org/pdf/2012.01472.pdf>

Estudio del polvo

JWST-MIRI



Permite observar las capas superficiales del disco

Dependiendo de la profundidad óptica se podrá ver un poco más del plano medio

Los planetas terrestres se forman en el plano medio e interno del disco

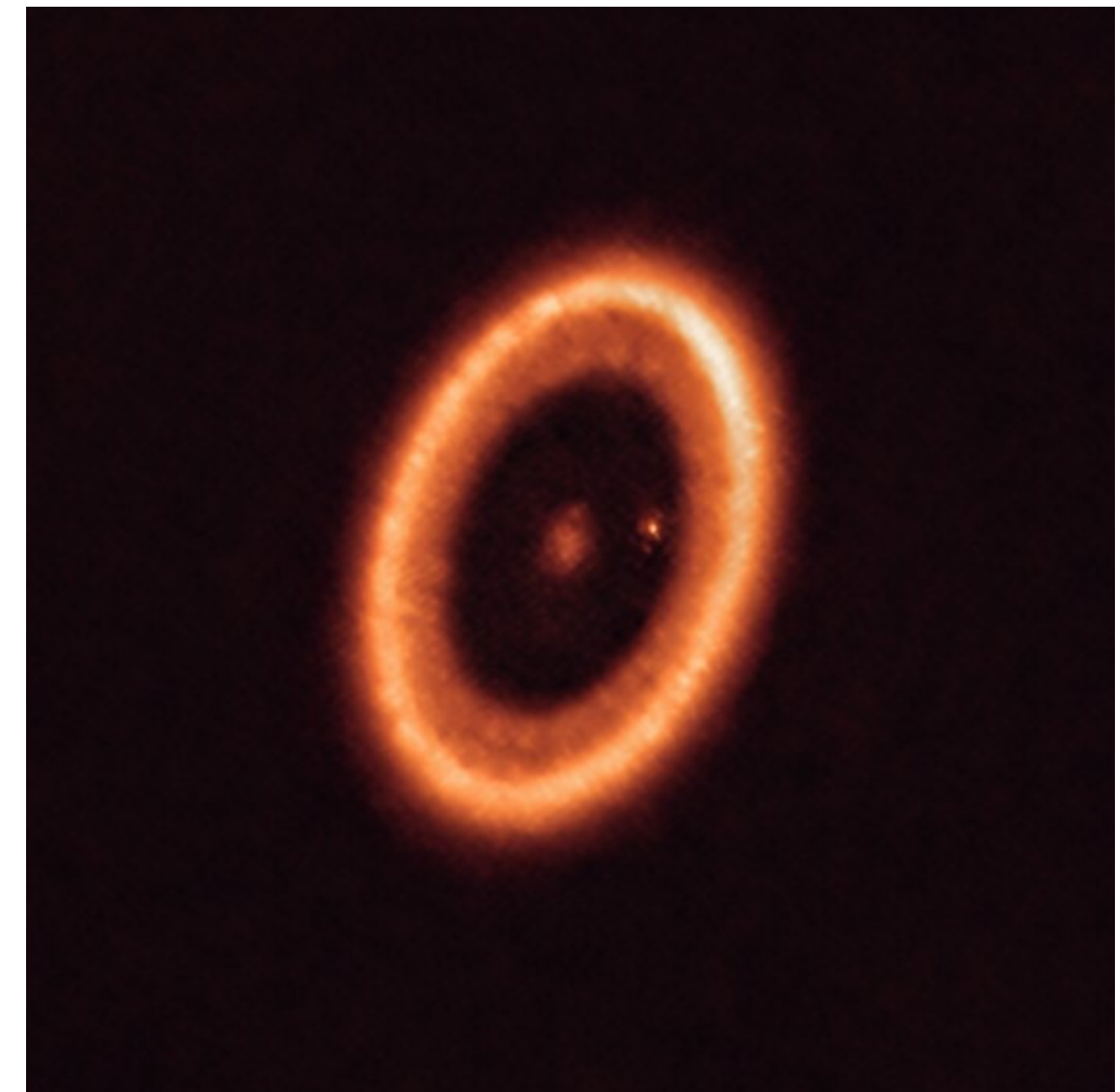
Figura 1. Descripción general de los instrumentos utilizados para observar las diferentes partes de los discos protoplanetarios, así como los procesos físicos y químicos más relevantes que ocurren¹.

¹Dishoeck, E.F., & Bergin, E.A. (2020). Astrochemistry associated with planet formation. *arXiv: Earth and Planetary Astrophysics*. <https://arxiv.org/pdf/2012.01472.pdf>

Polvo en los discos protoplanetarios

Regiones cercanas

- Se ha encontrado en estrellas T-Tauri y discos Herbig Ae/Be, bandas por silicato cristalino de enstatita, forsterita y dióxido (CaMgSi₂O₆)¹
- PDS 70: Se ha realizado un estudio mineralógico a partir del espectro tomado por el JWST-MIRI²



ALMA

¹Olofsson, J., Augereau, J. C., van Dishoeck, E. F., et al. 2010, A&A, 520, A39

²H. Jang et al. “Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations”. In: Astronomy & Astrophysics (2024). eprint: arXiv:2408.16367.

Polvo en los discos protoplanetarios

Regiones cercanas

- Se ha encontrado en estrellas T-Tauri y discos Herbig Ae/Be, bandas por silicato cristalino de enstatita, forsterita y dióxido de silicio. Los exoplanetas detectados no se han formado en regiones cercanas como Tauro
- PDS 70: Se ha realizado un estudio de mineralogía a partir del espectro tomado por el JWST-MIRI² (140 pc) o Lupus (200 pc)³



ALMA

¹Olofsson, J., Augereau, J. C., van Dishoeck, E. F., et al. 2010, A&A, 520, A39

²H. Jang et al. “Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations”. In: *Astronomy & Astrophysics* (2024). eprint: arXiv:2408.16367.

³Mann, R. K., Di Francesco, J., Johnstone, D., Andrews S. M., Williams, J. P., Bally, J., Ricci, L., Hughes, A. M., & Matthews B. C. (2014). ALMA observations of the Orion Proplyds. *arXiv: Astronomy and Astrophysics*. <https://arxiv.org/pdf/1403.2026.pdf>

Formación planetaria



Tomado de: <https://blog.astroingeo.org/planetas-extrasolares/formacion-sistemas-planetarios>

Las regiones representativas son regiones de formación estelar donde hay estrellas masivas ($>8M_{\odot}$)



Tomado de: Bate, M. R. (2011)¹.

¹Bate, M. R. (2011). Stellar, brown dwarf and multiple star properties from a radiation hydrodynamical simulation of star cluster formation. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 419(4), 3115–3146. doi:10.1111/j.1365-2966.2011.19955.x

Formación planetaria



Tomado de: <https://blog.astroingeo.org/planetas-extrasolares/formacion-sistemas-planetarios>

Las regiones representativas son regiones de formación estelar donde hay estrellas masivas ($>8M_{\odot}$)

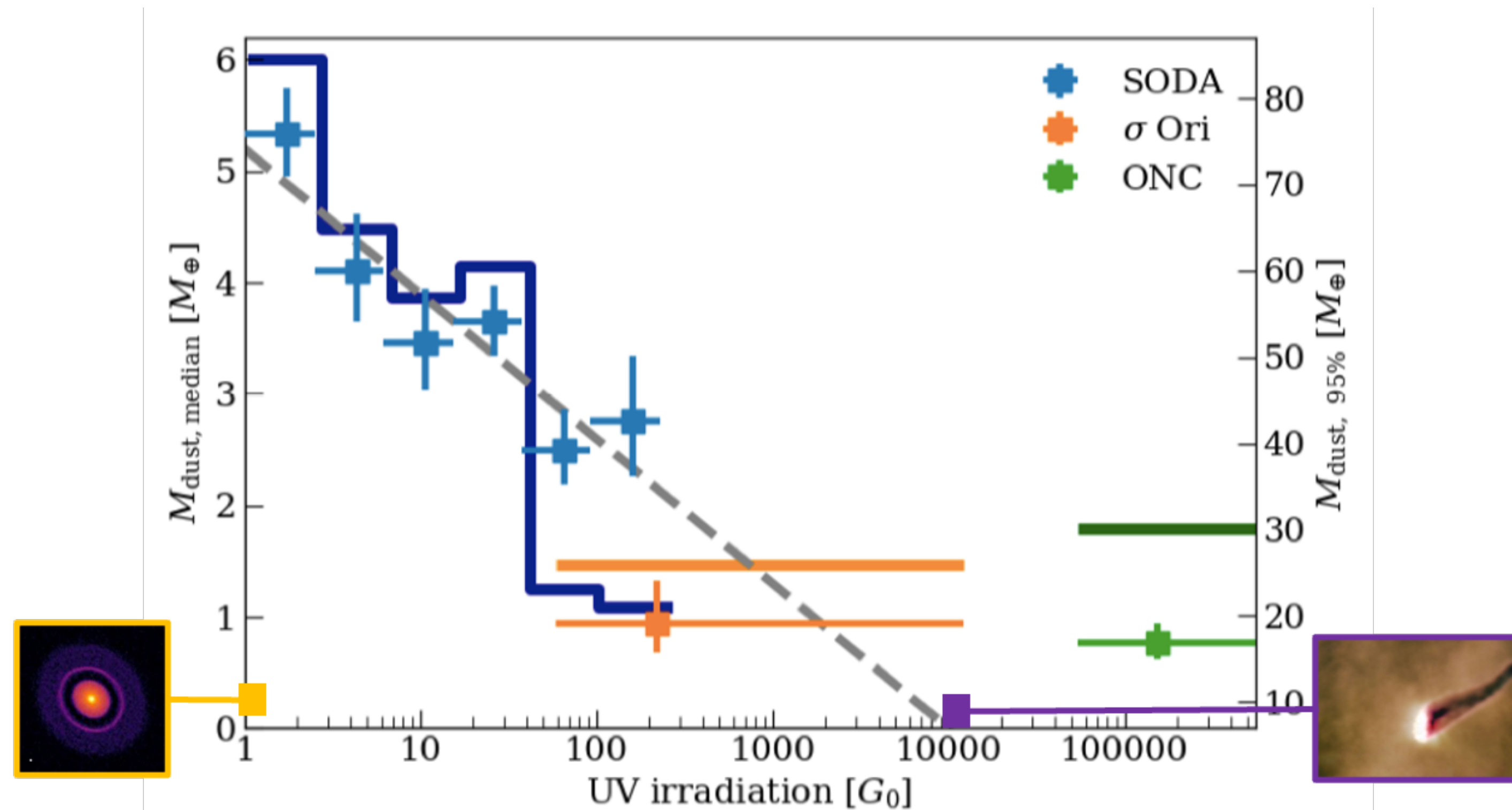
Hay un alta intensa radiación UV



Tomado de: Bate, M. R. (2011)¹.

¹Bate, M. R. (2011). Stellar, brown dwarf and multiple star properties from a radiation hydrodynamical simulation of star cluster formation. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 419(4), 3115–3146. doi:10.1111/j.1365-2966.2011.19955.x

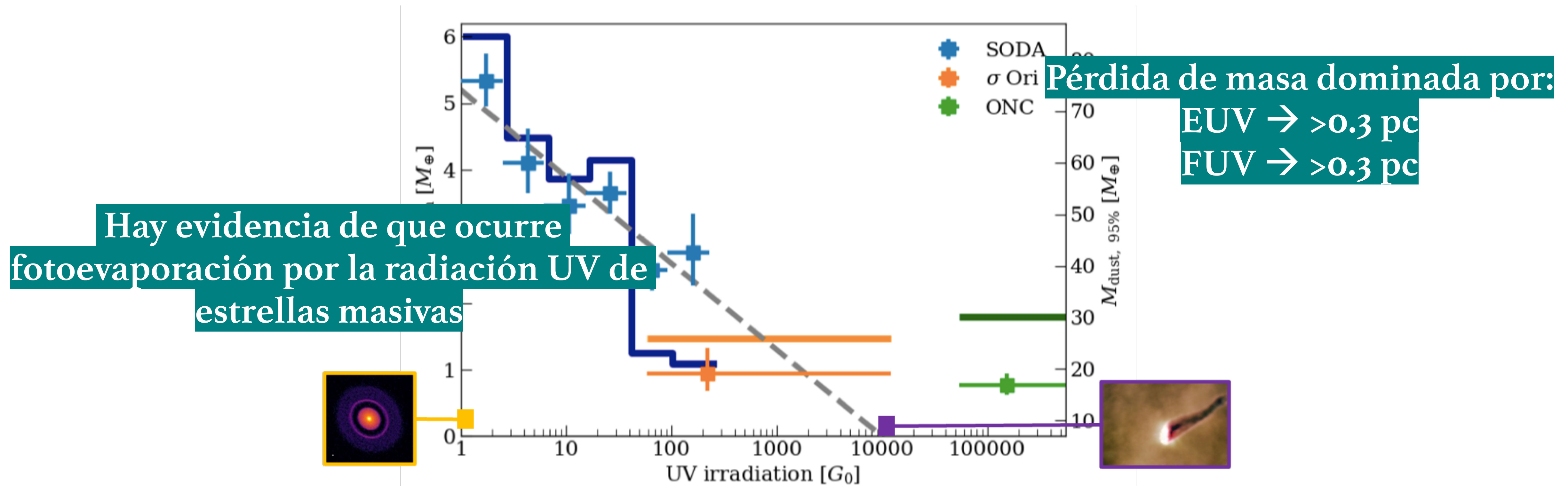
Disipación de los discos protoplanetarios



Tomado de: S. E. van Terwisga (2023)¹.

¹Survey of Orion Disks with ALMA (SODA) - II. UV-driven disk mass loss in L1641 and L1647. S. E. van Terwisga, A. Hacar, A&A 673 L2 (2023)

Disipación de los discos protoplanetarios



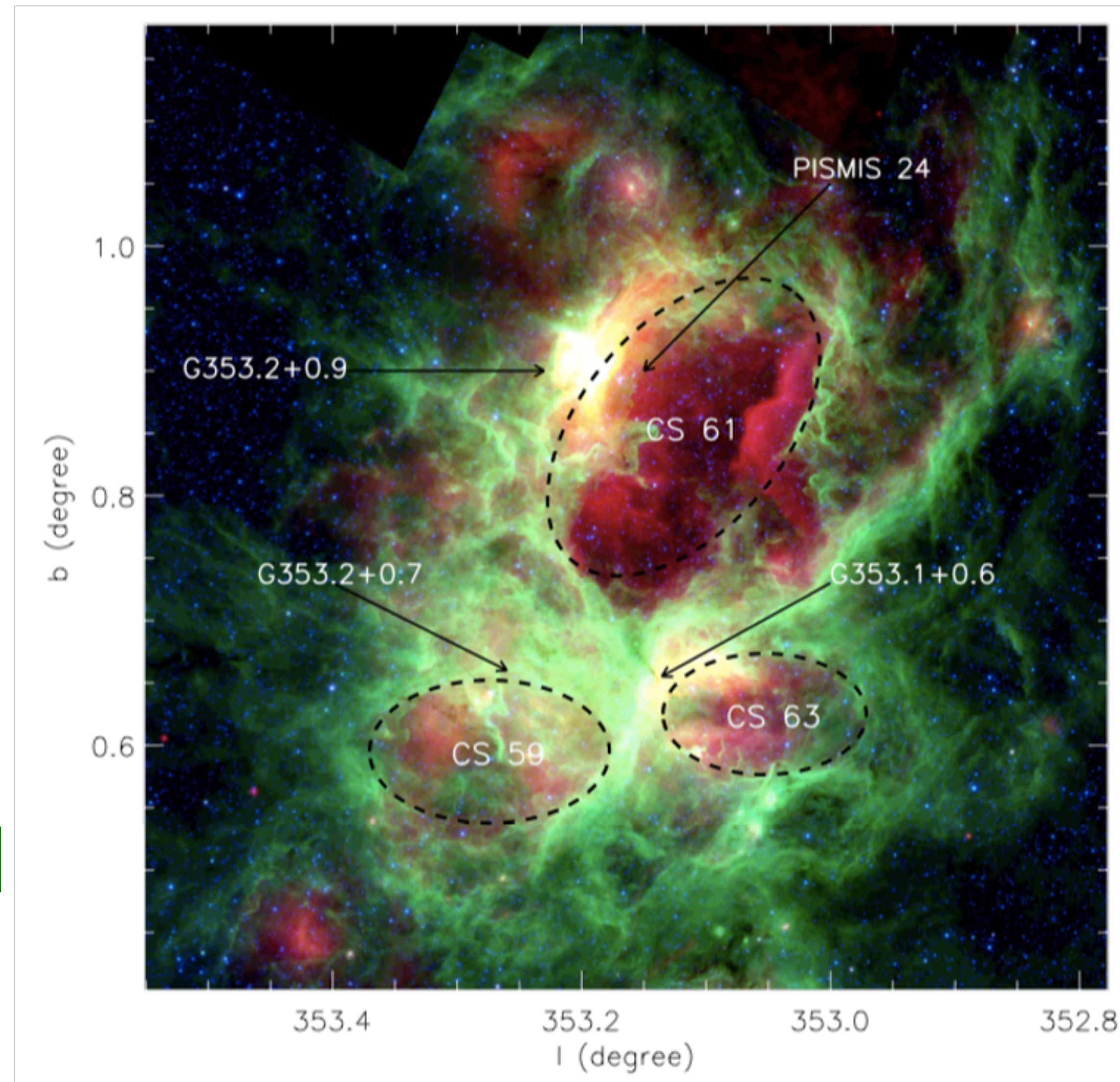
Tomado de: S. E. van Terwisga (2023)¹.

¹Survey of Orion Disks with ALMA (SODA) - II. UV-driven disk mass loss in L1641 and L1647. S. E. van Terwisga, A. Hacar, A&A 673 L2 (2023)

NGC 6357

Se encuentra a una distancia de 1690 pc en el brazo de Sagitario-Carina¹

Presenta 3 sub-clusters:
PISMIS 24, G353.1+0.7, G353.1+0.6¹



Región que es representativa donde se forman la mayoría de las estrellas¹

Tomado de: Ramírez-Tannus, M. C. (2020)¹.

¹Ramírez-Tannus, M. C., Poorta, J., Bik, A., Kaper, L., de Koter, A., De Ridder, J., Sana, H. (2020). The young stellar content of the giant H II regions M 8, G333.6–0.2, and NGC 6357 with VLT/KMOS. *Astronomy & Astrophysics*, 633, A155. doi:10.1051/0004-6361/201935941 784(1), 82. doi:10.1088/0004-637x/784/1/82

Extinción del medio interestelar

Importancia de realizar una corrección por extinción

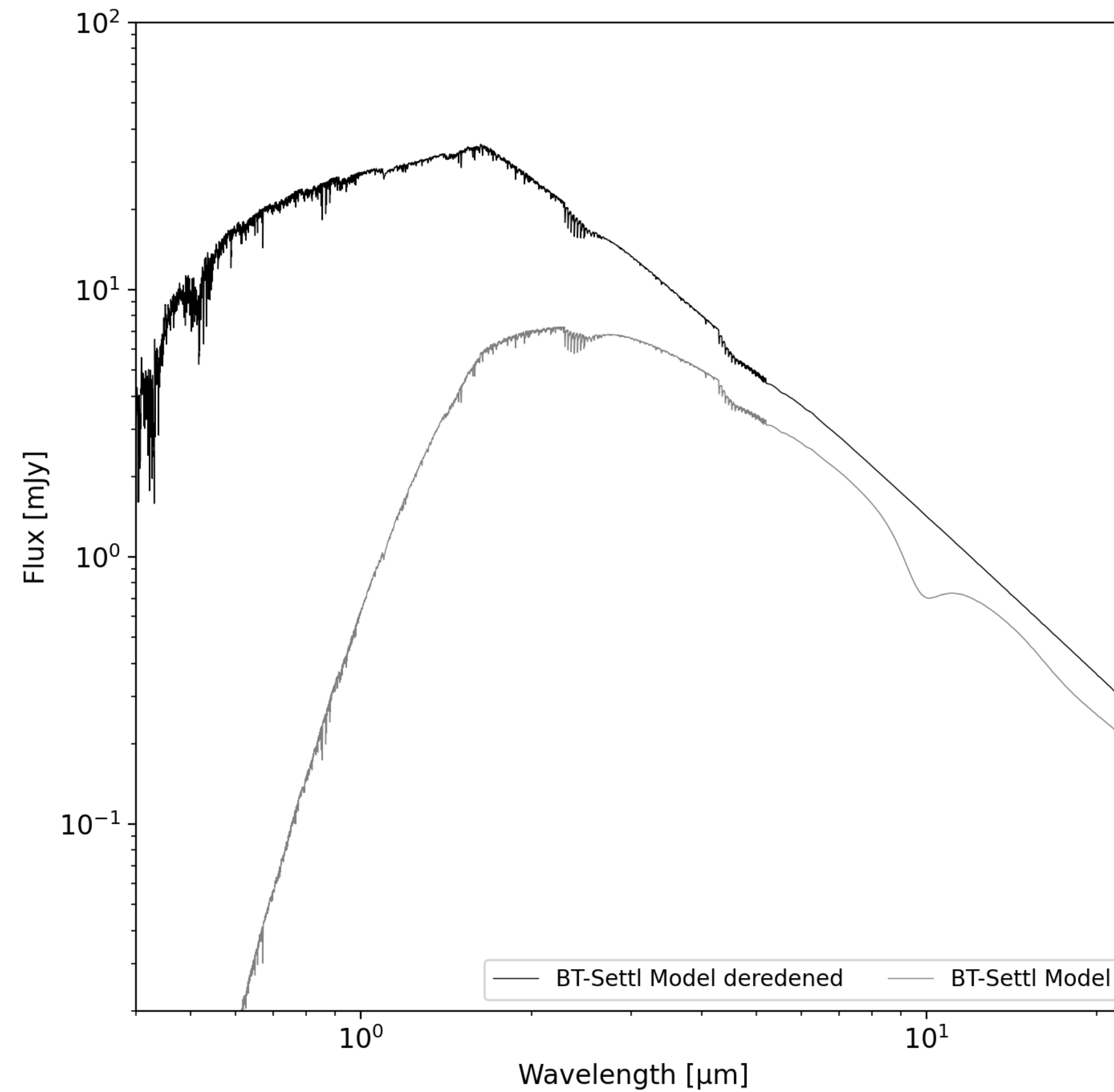


Figura 2. Comparación de la extinción del medio interestelar utilizando el mismo espectro modelado con el modelo BT-Settl a una temperatura de $T=4700$ K, $\log(g) = 3$ y metalicidad igual a 0. Se muestran el espectro desenrojecido (sin extinción) en negro y el espectro usando una ley de extinción en gris.

Extinción del medio interestelar

Importancia de realizar una corrección por extinción

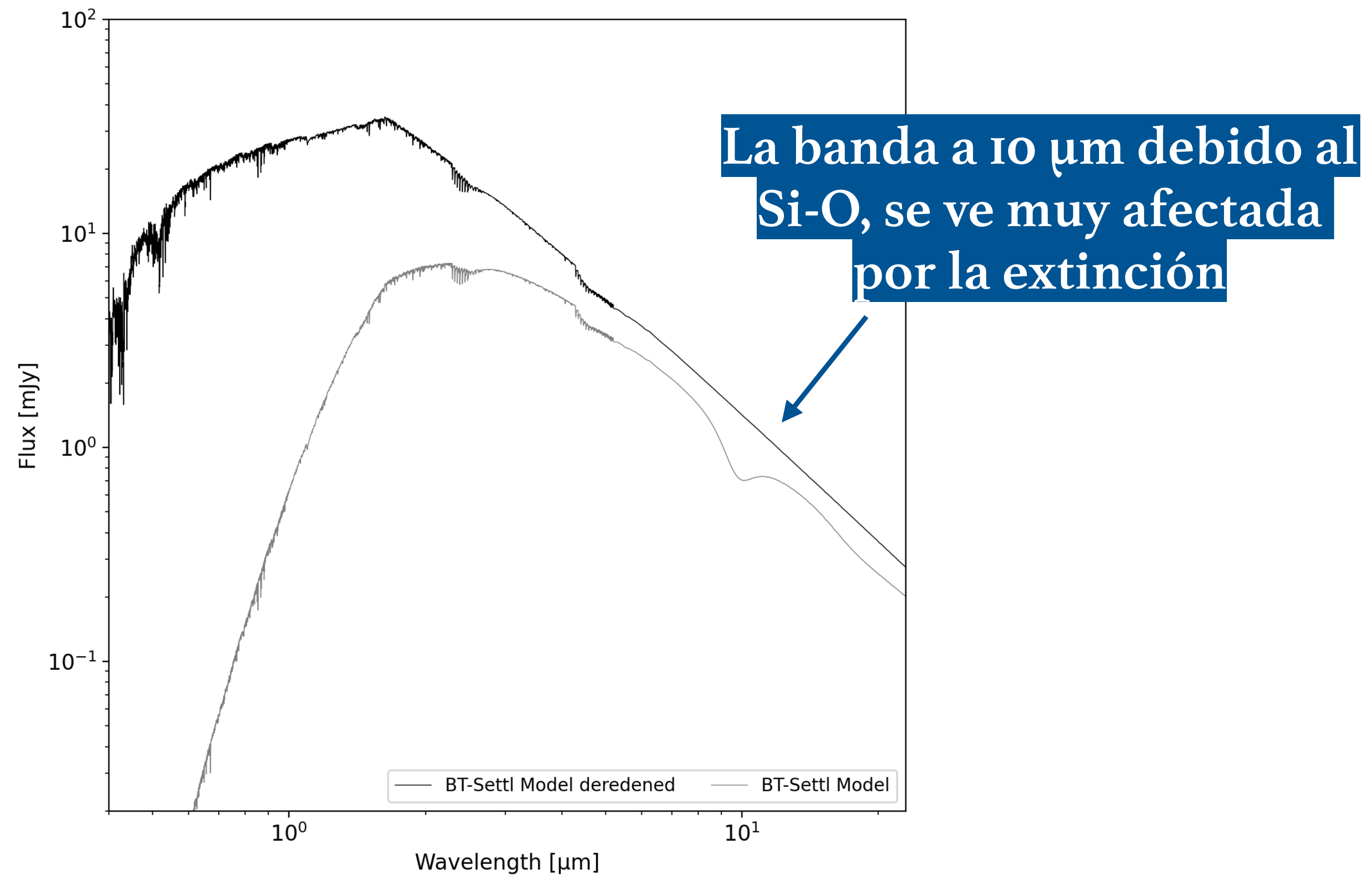


Figura 2. Comparación de la extinción del medio interestelar utilizando el mismo espectro modelado con el modelo BT-Settl a una temperatura de $T=4700$ K, $\log(g) = 3$ y metalicidad igual a 0. Se muestran el espectro desenrojecido (sin extinción) en negro y el espectro usando una ley de extinción en gris.

Resultados

Parámetros de extinción

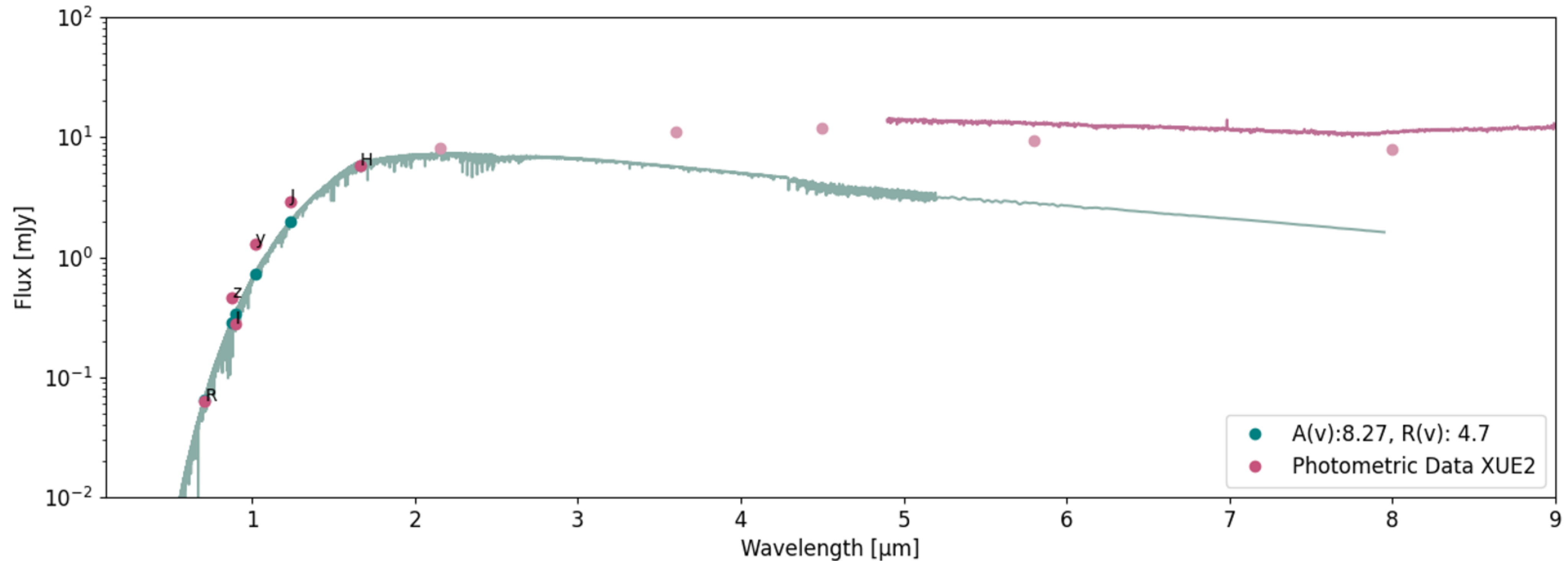


Figura 3. Determinación de los parámetros A_v y R_v como el mejor ajuste por minimización del χ^2 , de los datos fotométricos de XUE2 a los teóricos enrojecidos provenientes del modelo estelar Drift Phoenix ($T= 4700$ K, $\log(g)= 3.0$), utilizando la ley de extinción de Gordon et al. (2023)¹

¹Gordon, K. D., Meixner, M., Indebetouw, R., & Zibetti, S. (2023). One relation for all wavelengths: The far-ultraviolet to mid-infrared Milky Way spectroscopic $R(V)$ -dependent dust extinction relationship. *The Astrophysical Journal*, 950(86), 13pp. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/accb59>

Resultados

Desenrojecimiento del espectro observacional

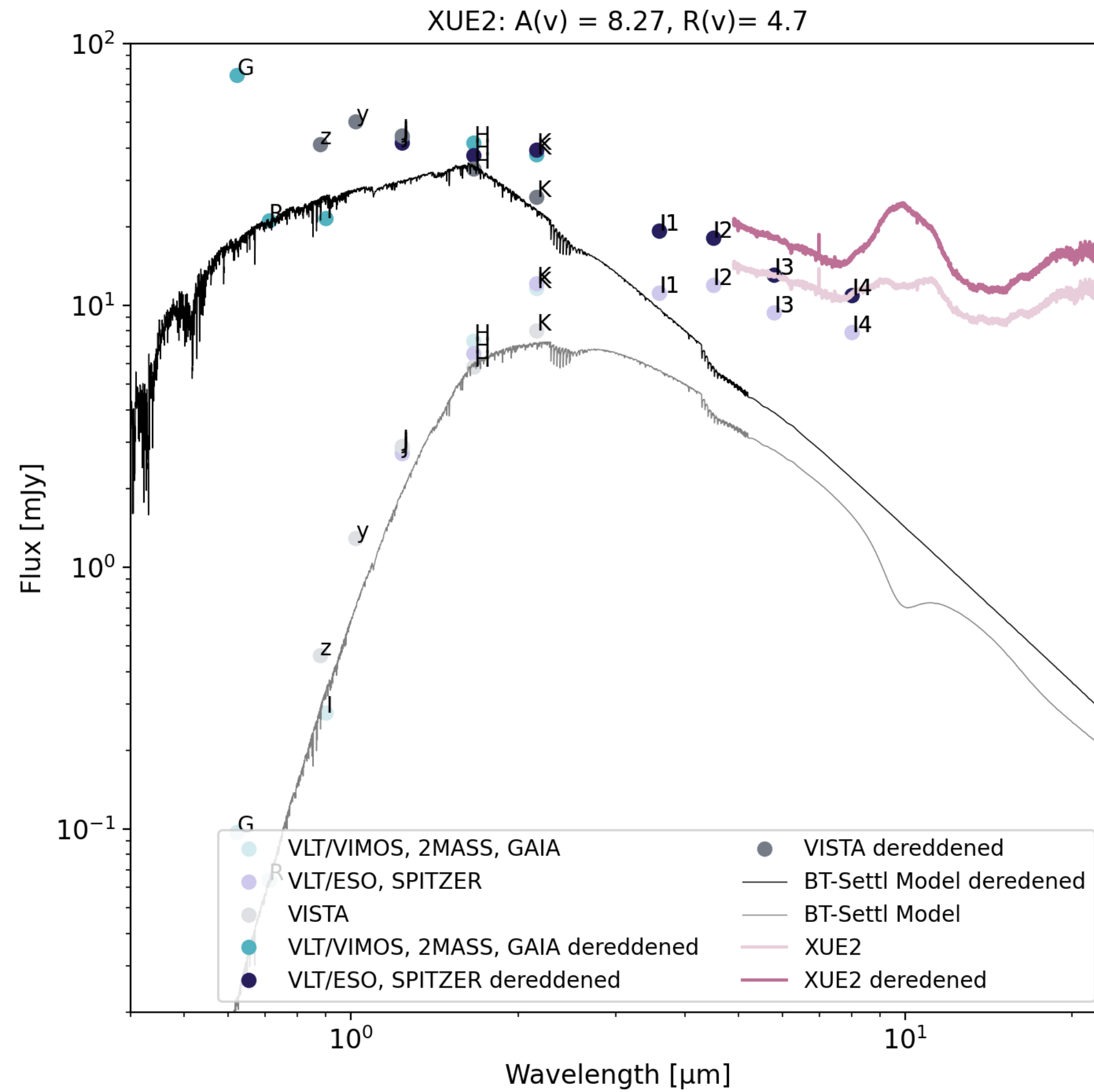


Figura 4. Espectro MIRI y Datos fotométricos de XUE2, desenrojados utilizando la ley de extinción de Gordon et al. (2023)¹ con un $A_v = 8.27$ y $R_v = 4.7$.

¹Gordon, K. D., Meixner, M., Indebetouw, R., & Zibetti, S. (2023). One relation for all wavelengths: The far-ultraviolet to mid-infrared Milky Way spectroscopic $R(V)$ -dependent dust extinction relationship. *The Astrophysical Journal*, 950(86), 13pp. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/acb59>

Resultados

Determinación del continuo del espectro desenrojado

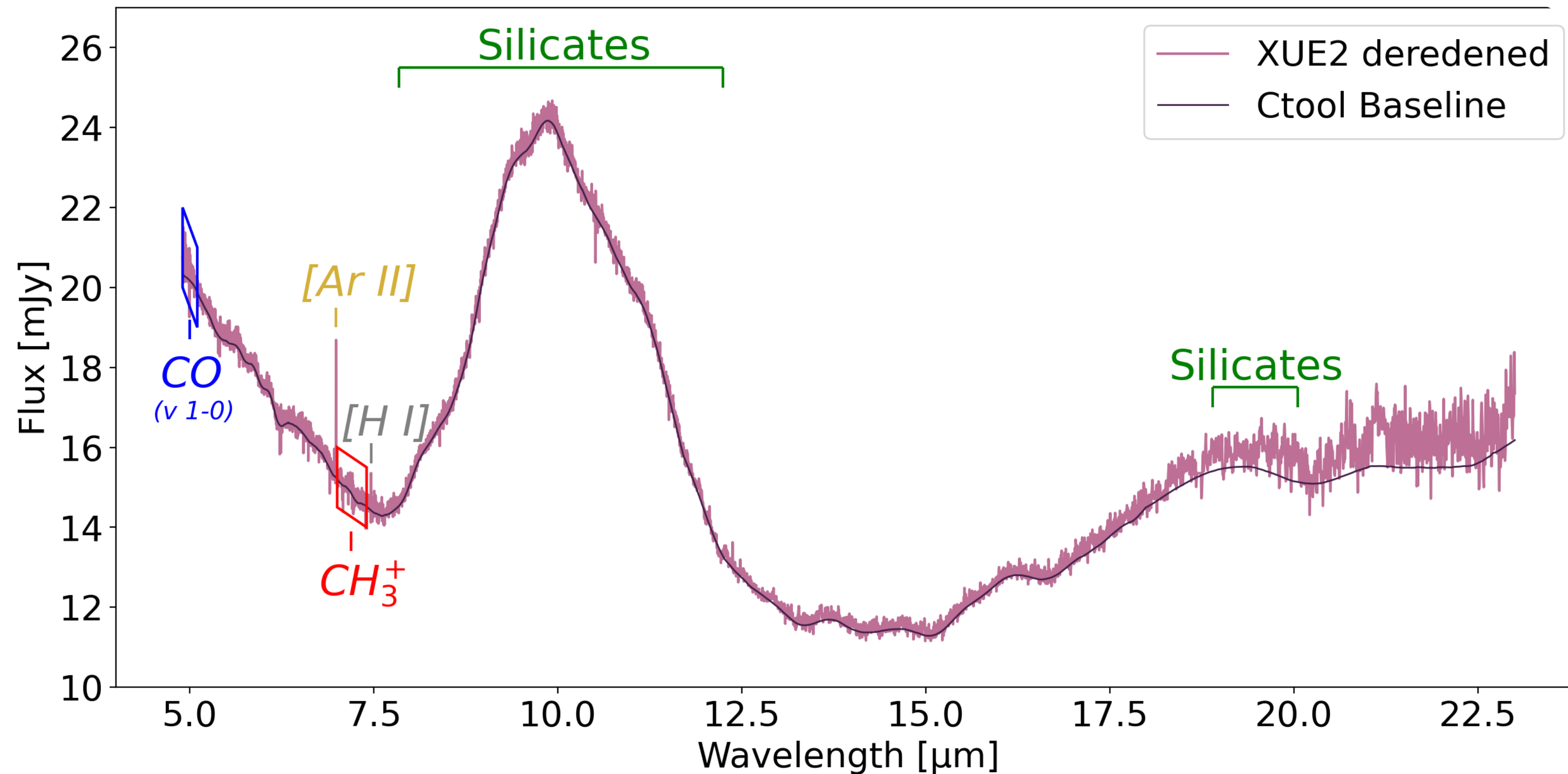
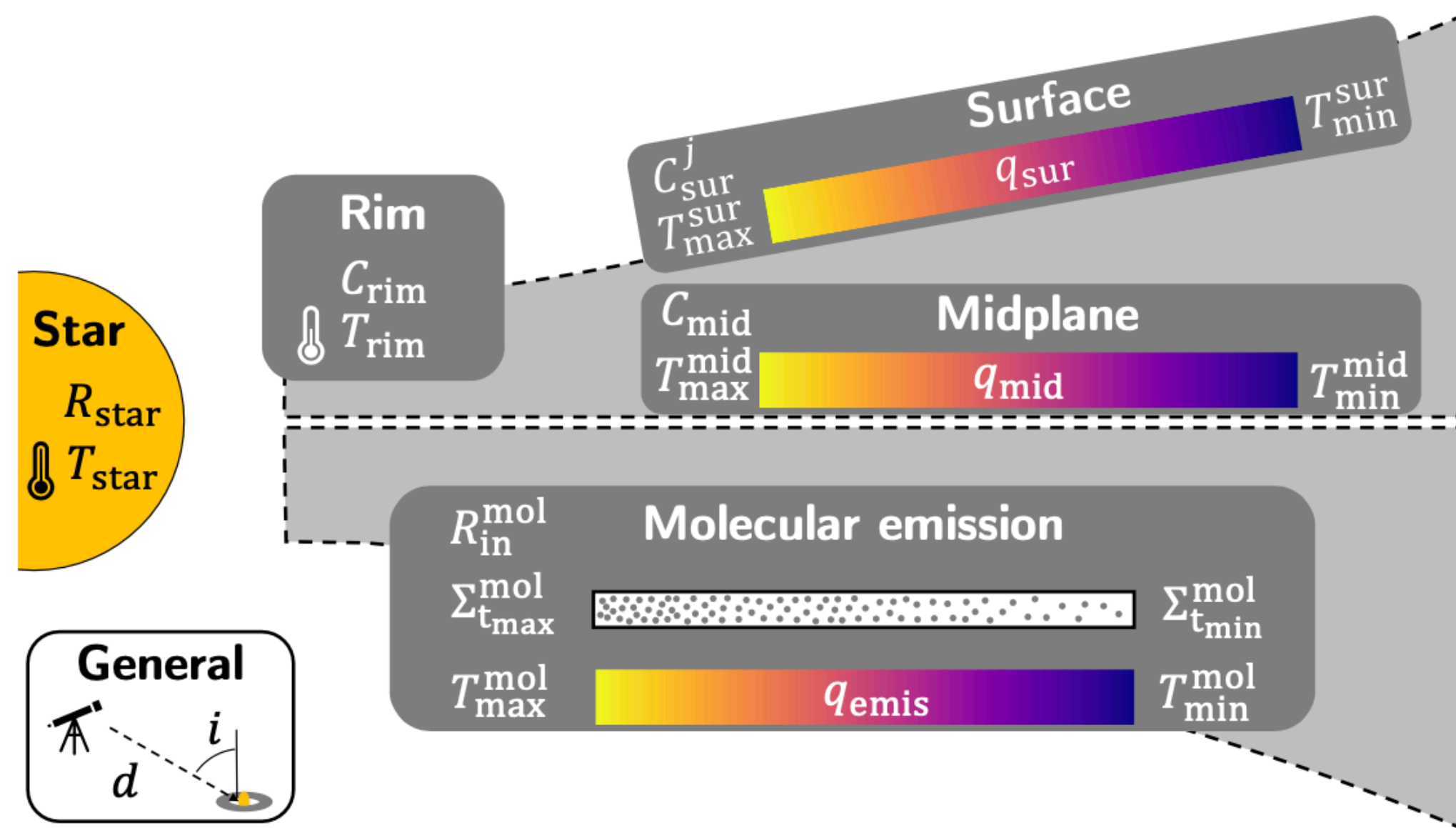


Figura 5. Espectro desenrojado de XUE2 obtenido por MIRI del JWST ($A_v = 8.27$ y $R_v = 4.7$) y determinación de la línea base usando la herramienta ctool¹. Las líneas más prominentes se encuentran etiquetadas.

¹K. M. Pontoppidan, C. Salyk, A. Banzatti, and et al. “High-contrast JWST-MIRI spectroscopy of planet-forming disks for the JDISC Survey”. In: The Astrophysical Journal 963:158 (2023).

Ajuste del espectro usando DuCK

Dust Continuum Kit with Line emission from Gas (DuCKLinG)



$$F_{\nu} = F_{\nu}^{\text{star}} + F_{\nu}^{\text{rim}} + F_{\nu}^{\text{mid}} + F_{\nu}^{\text{sur}}$$

Permite analizar el polvo en discos protoplanetarios al realizar un ajuste con el continuo del polvo¹

Tomado de: T. Kaeufer. (2024)¹.

¹T. Kaeufer, M. Min, P. Woitke, I. Kam, and A. M. Arabhavi. "Bayesian Analysis of Molecular Emission and Dust Continuum of Protoplanetary Disks". In: Arxiv (2024).

Resultados

Ajuste con DuCK

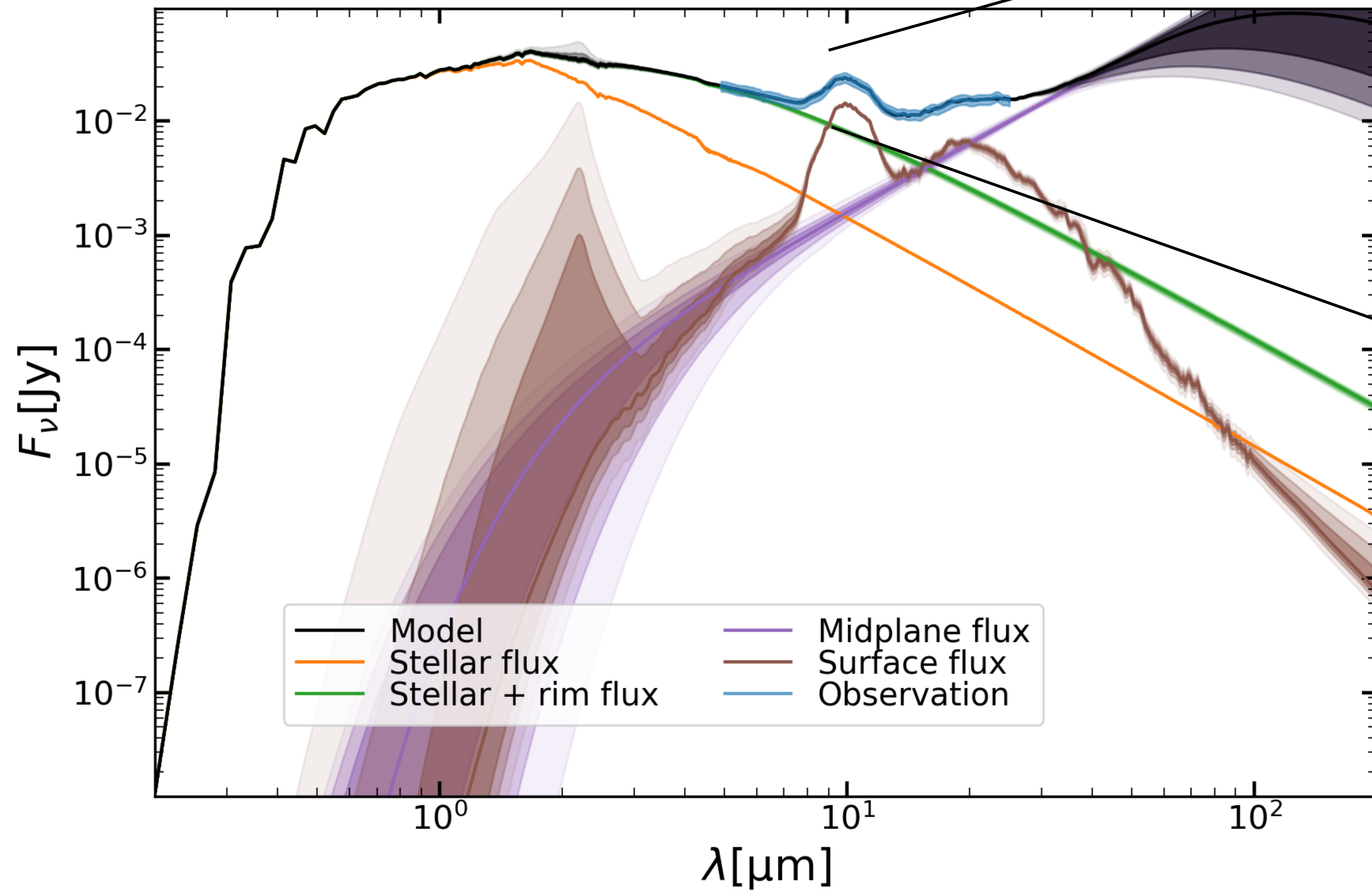


Figura 6. Comparación de la línea base del espectro observacional de XUE2 desrojado usando un $A_V = 8.27$ y $R_V = 4.7$ (azul) con el obtenido mediante la herramienta DuCK (negro), así como de cada una de sus componentes: el flujo estelar (naranja), el flujo que surge del borde interior del disco (verde), flujo proveniente del plano medio (morado) y el flujo proveniente de la capa superficial del disco (café).

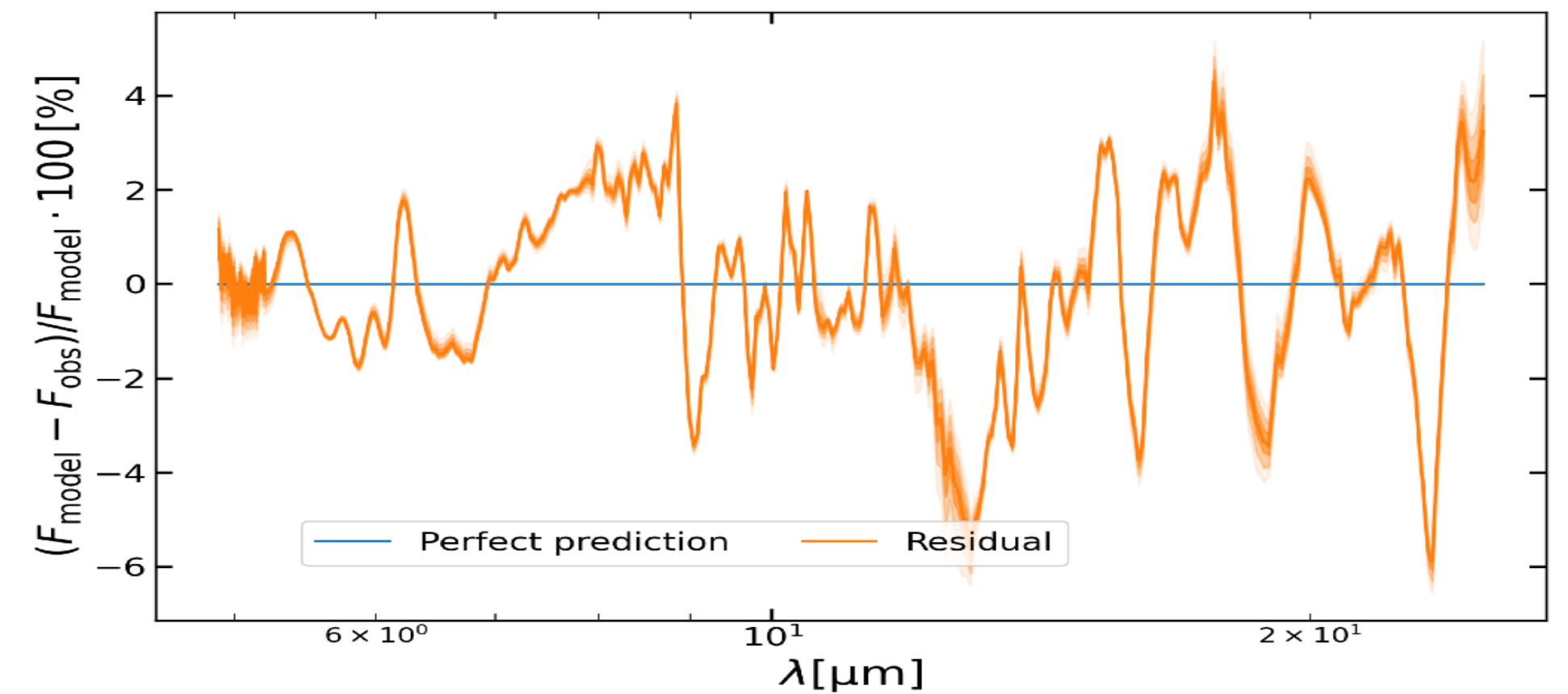
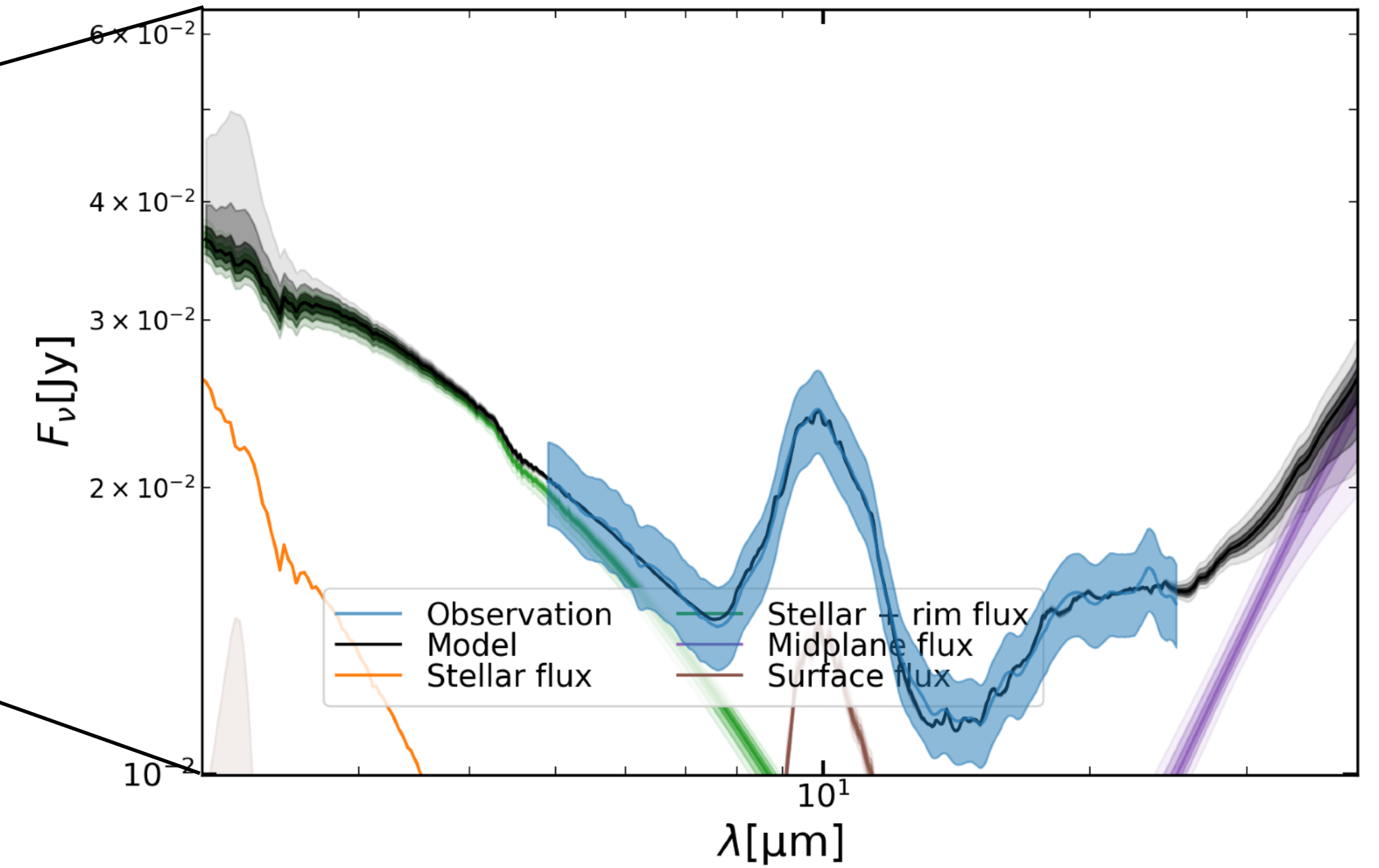
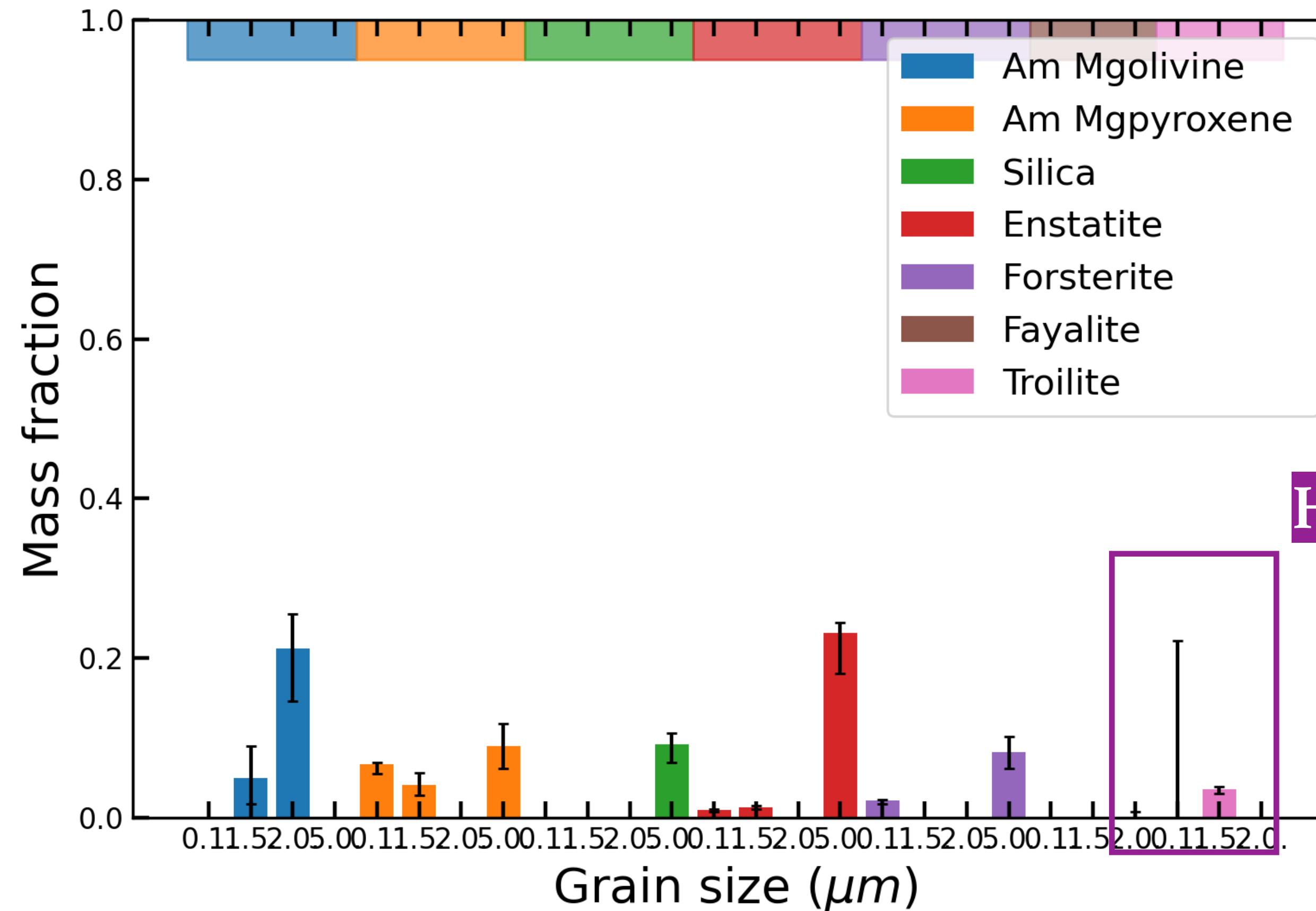


Figura 7. Residuales obtenidos a partir del error relativo (%) en función de la longitud de onda.

Resultados

Composición mineralógica

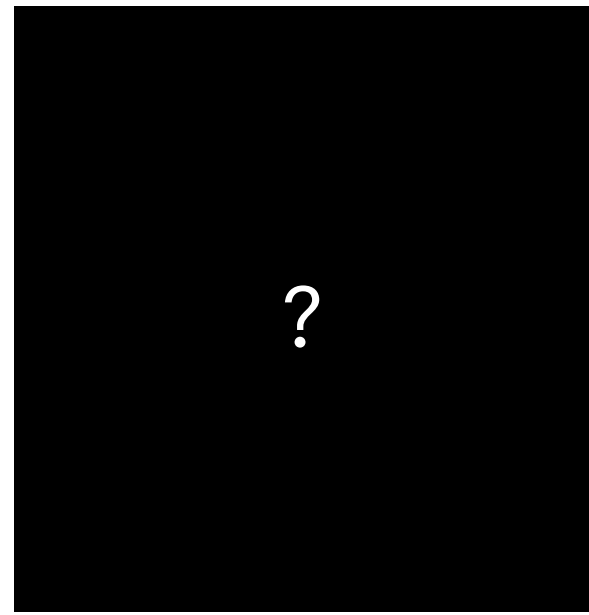


Hay presencia de Hierro en XUE2

Figura 8. Fracción de masa de diversas especies mineralógicas con su respectivo tamaño en µm encontradas en XUE2.

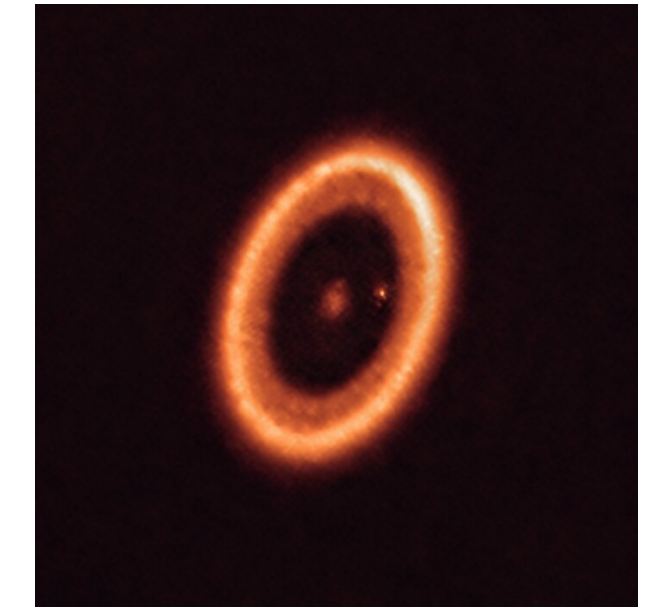
Resultados

Comparación con PDS70



ALMA

XUE2



ALMA

PDS70

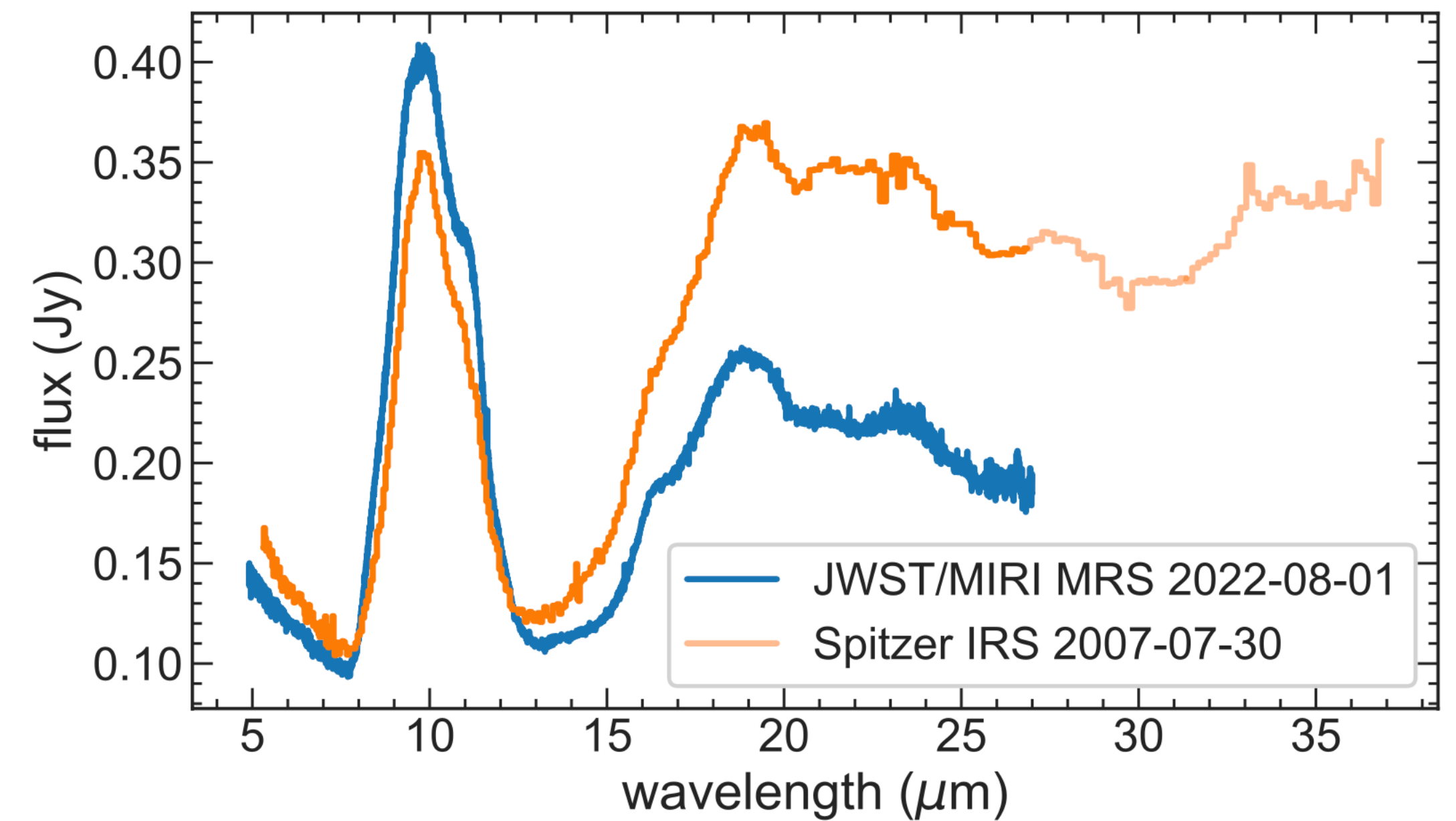
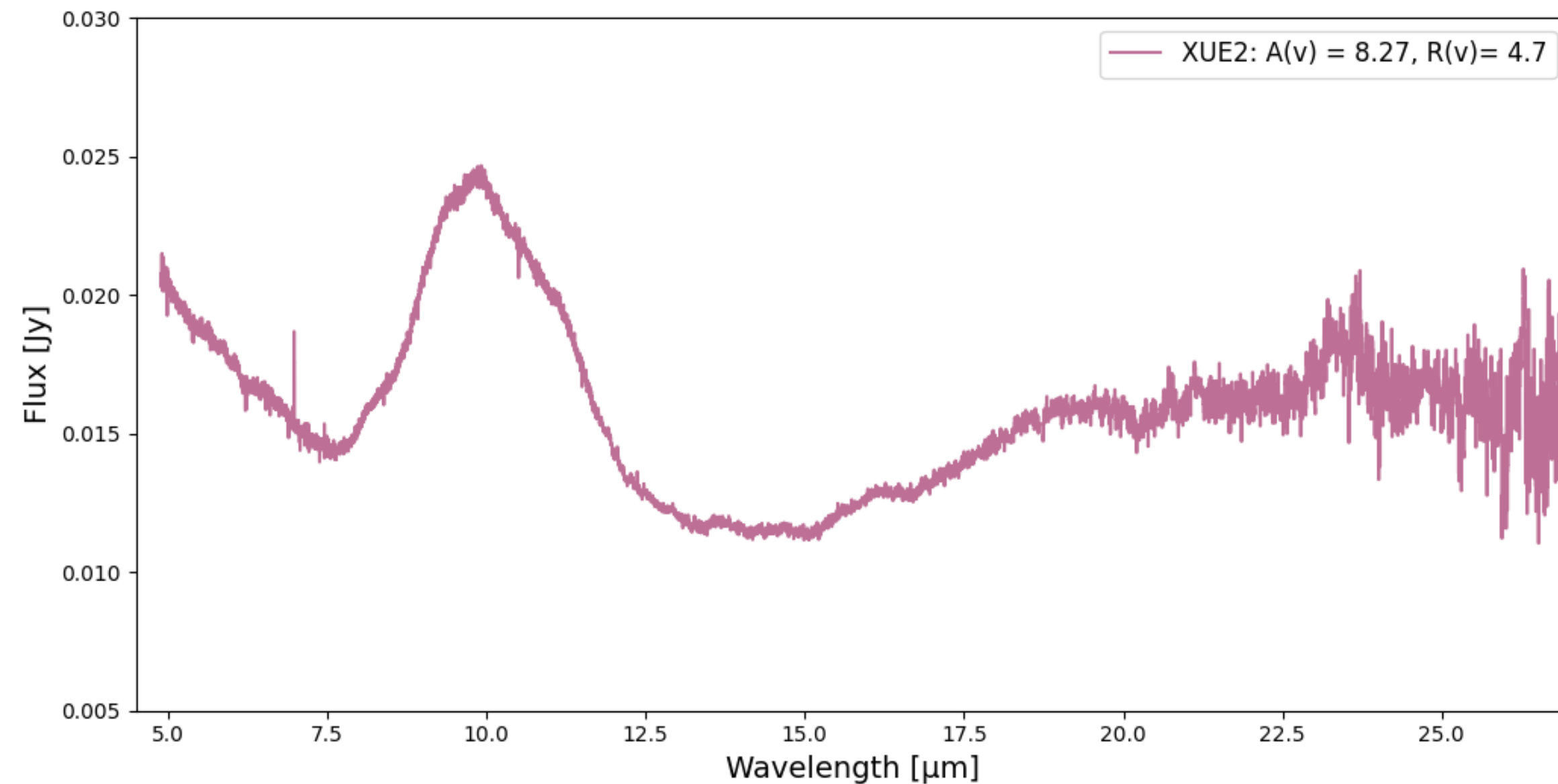
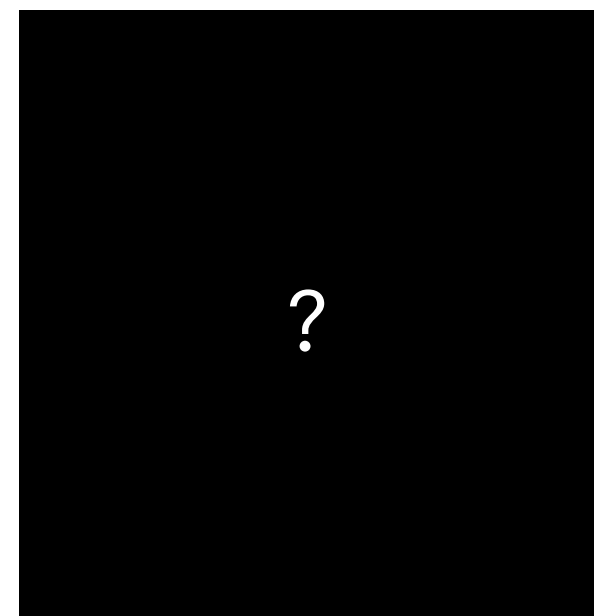


Figura 9. Espectro desenrojecido de XUE2 usando un $A_v = 8.27$ y $R_v = 4.7$.

¹H. Jang et al. “Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations”. In: Astronomy & Astrophysics (2024). eprint: arXiv:2408.16367.

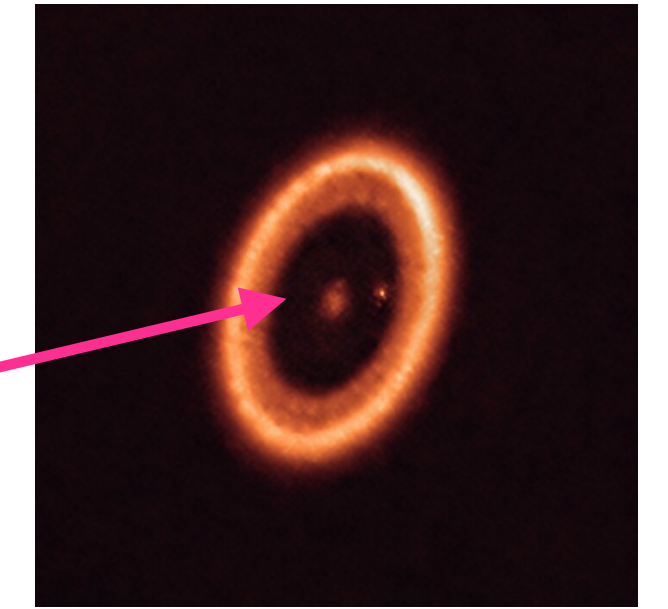
Resultados

Comparación con PDS70



ALMA

XUE2



ALMA

PDS70

El cambio de pendiente a 15 μm indica la presencia de un hueco en el disco

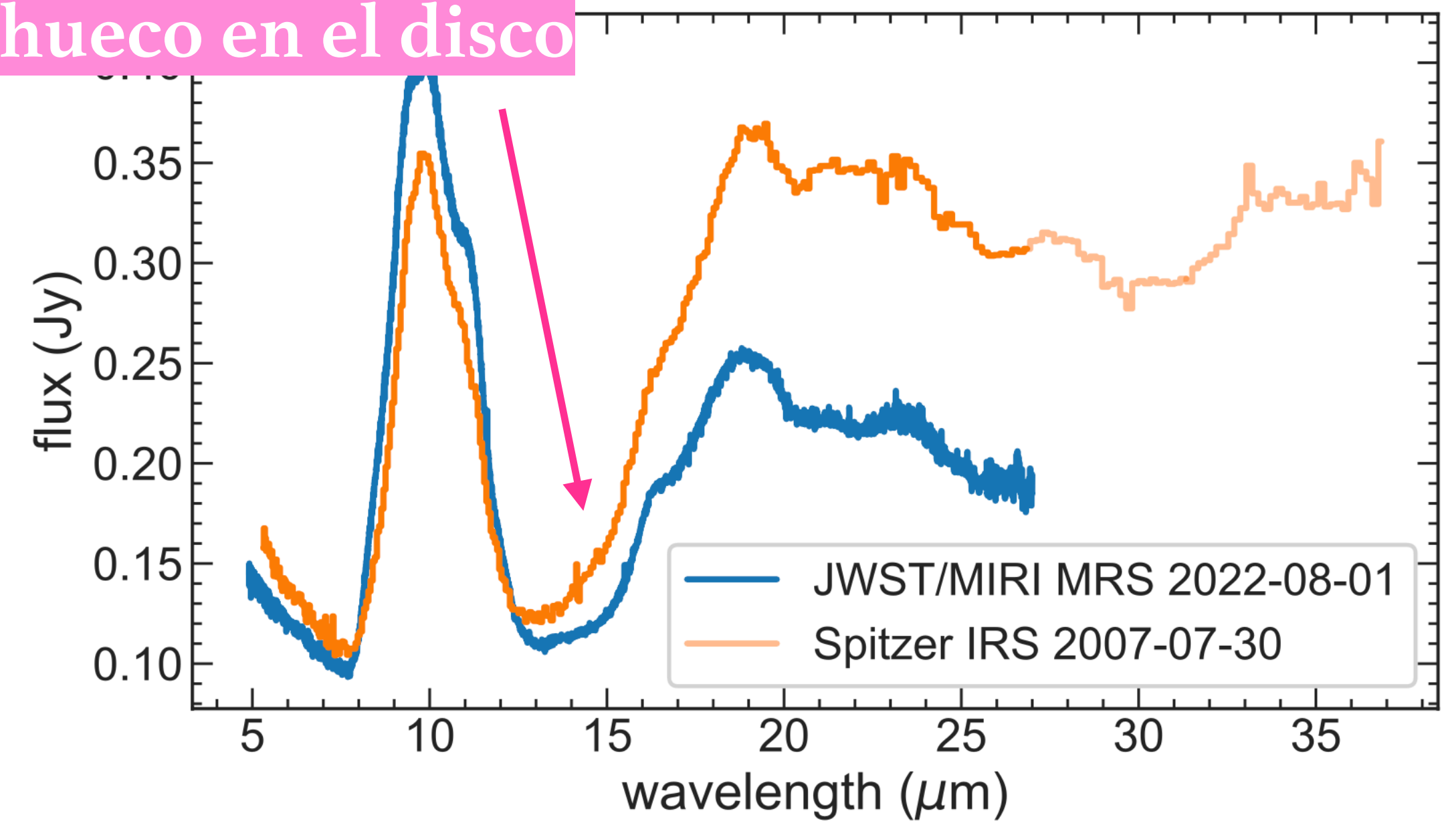
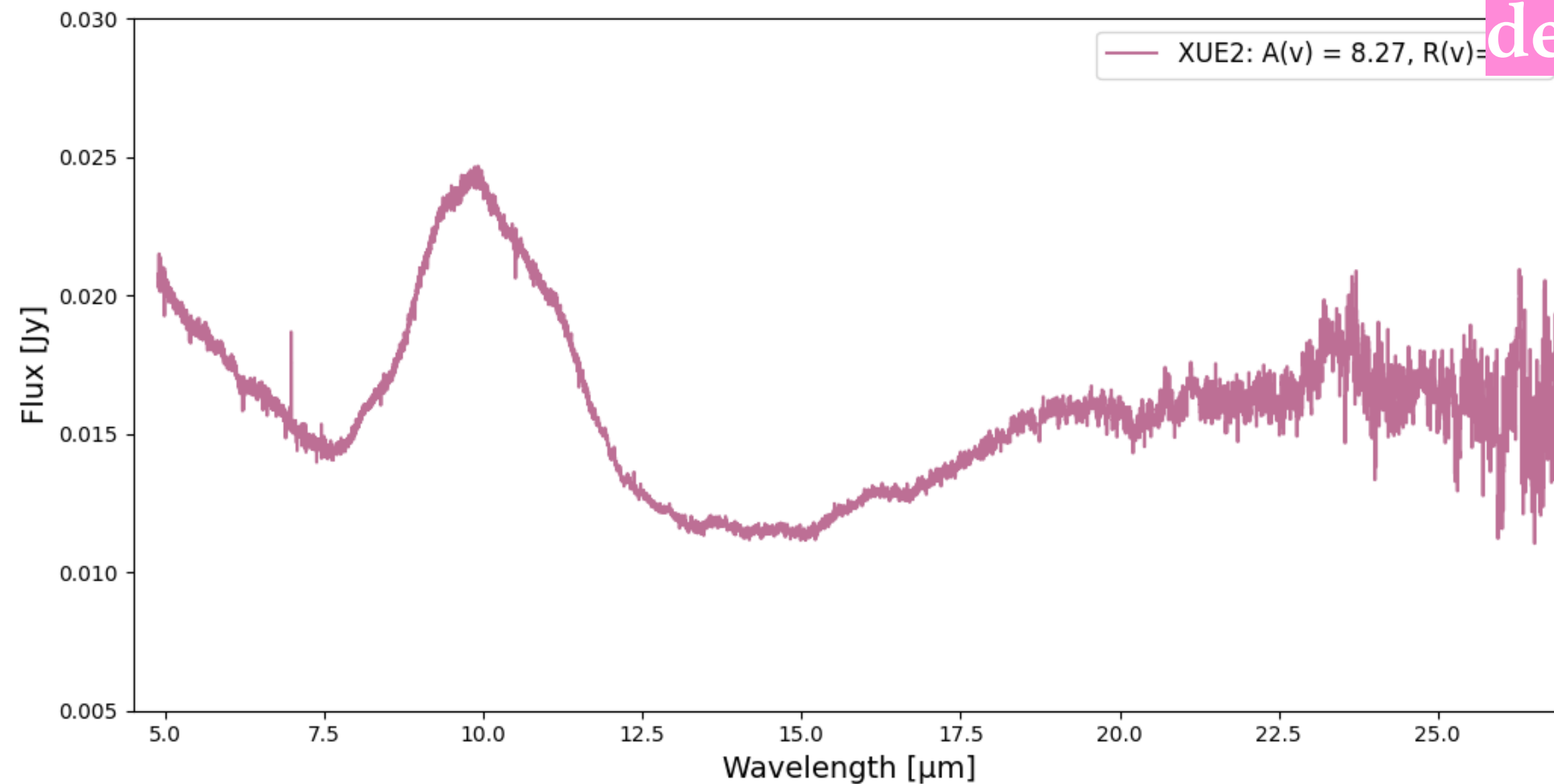
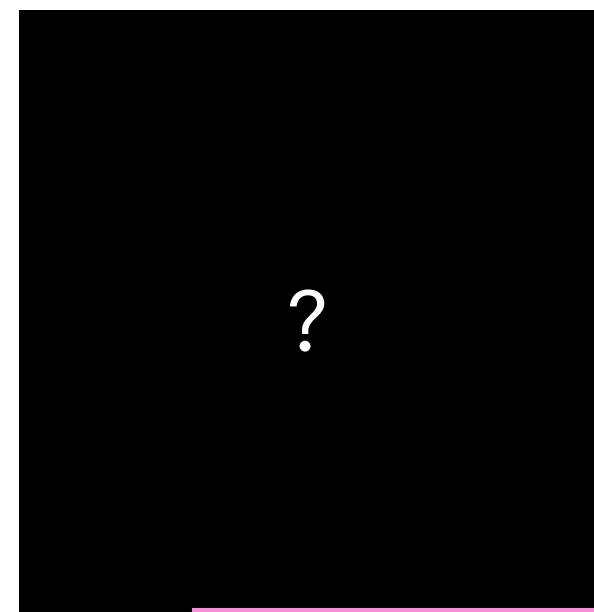


Figura 9. Espectro desenrojado de XUE2 usando un $A_v = 8.27$ y $R_v = 4.7$.

¹H. Jang et al. “Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations”. In: *Astronomy & Astrophysics* (2024). eprint: arXiv:2408.16367.

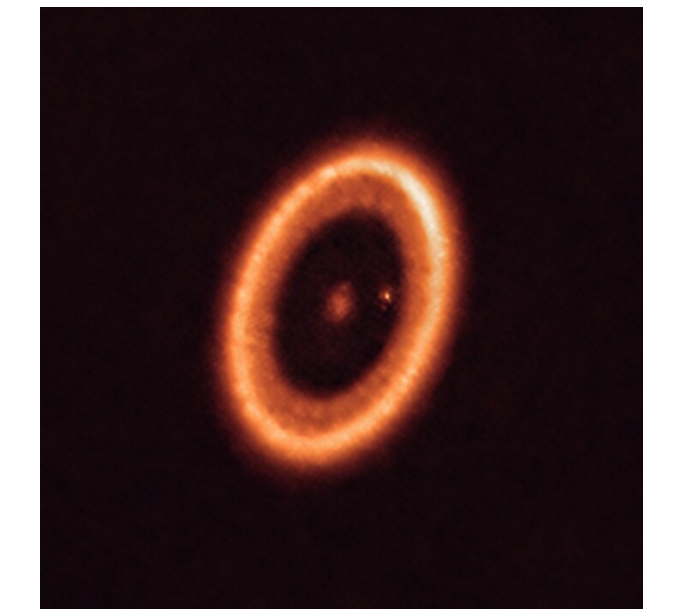
Resultados

Comparación con PDS70



ALMA

XUE2



ALMA

PDS70

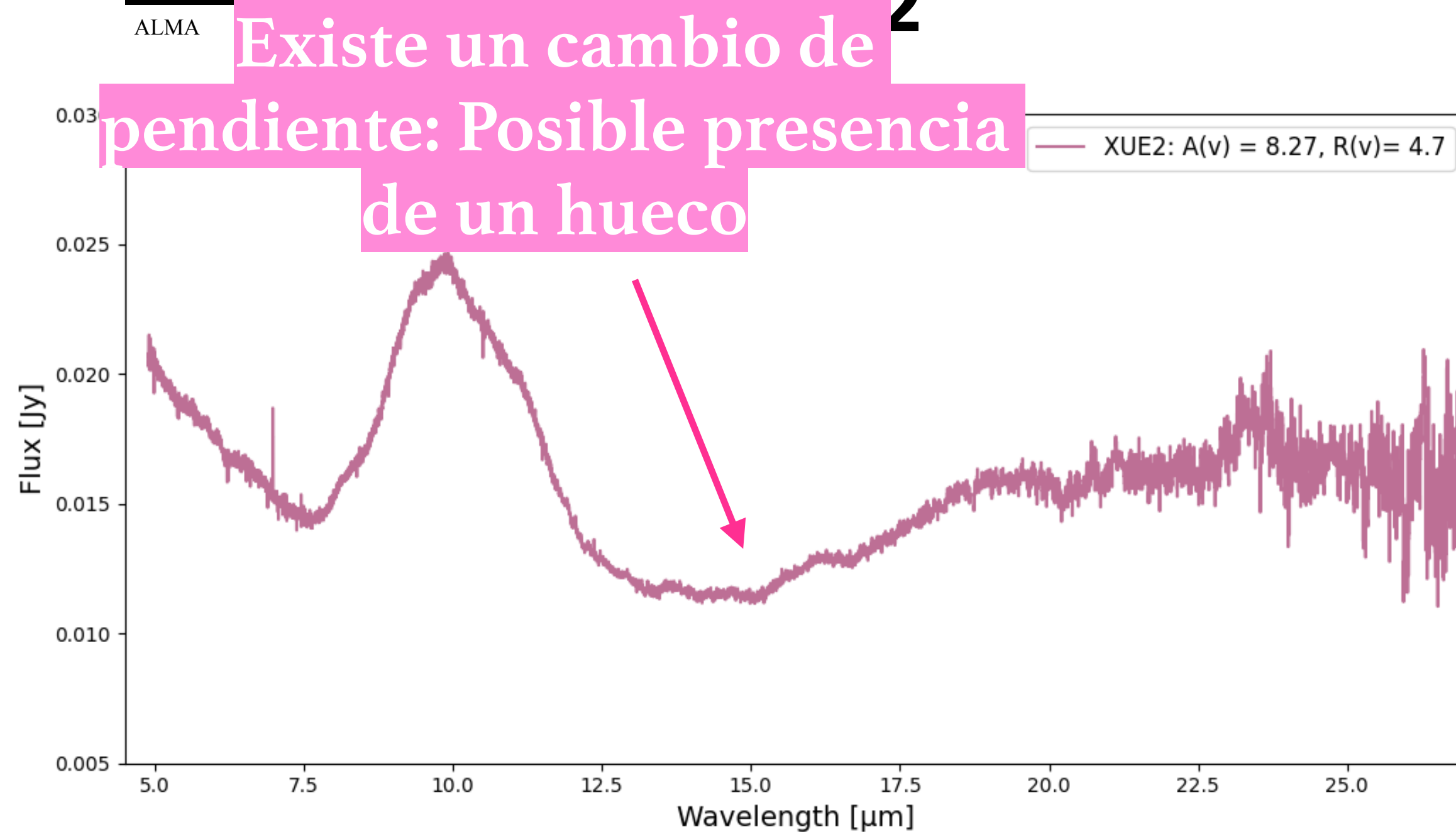
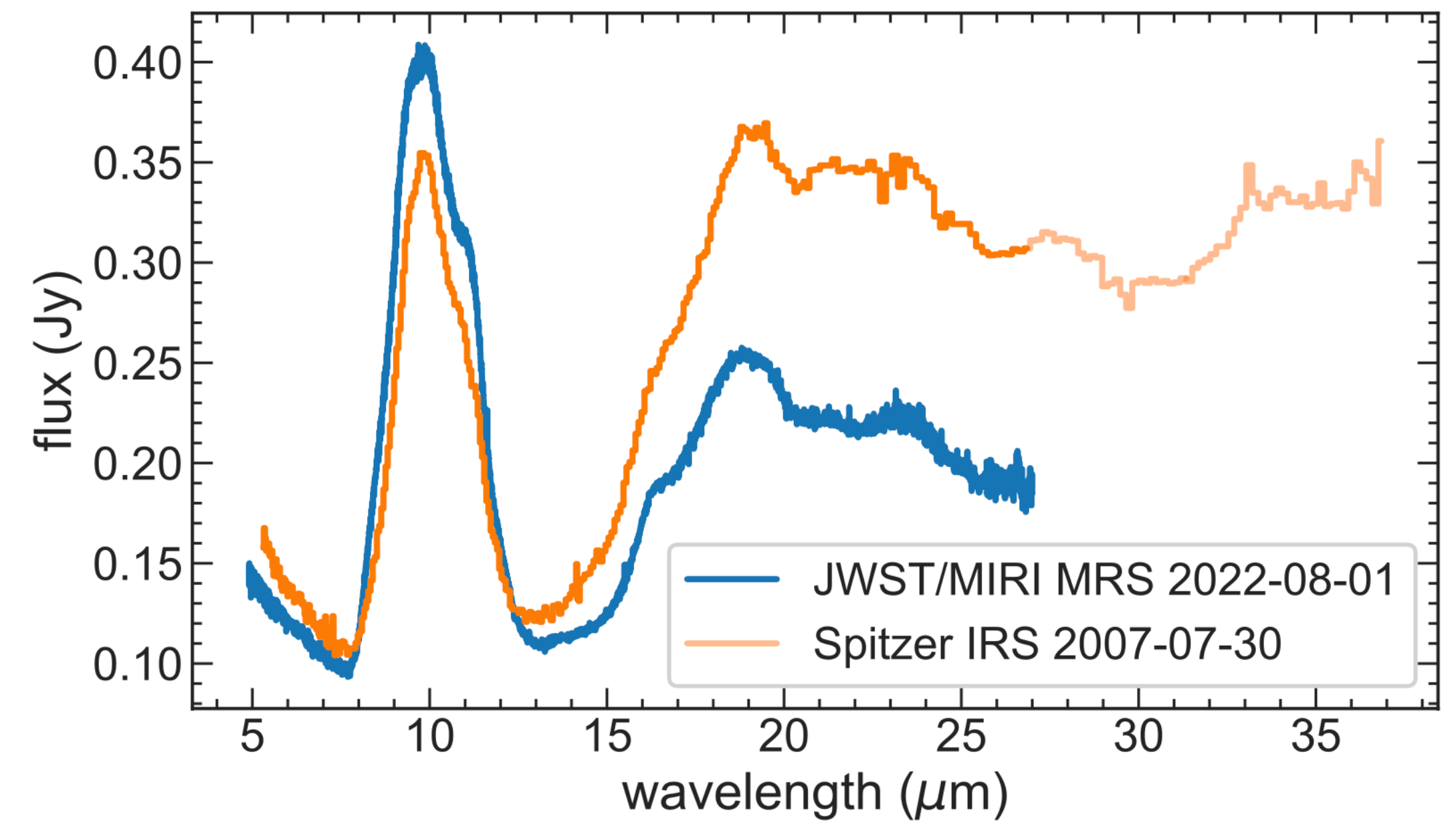


Figura 9. Espectro desenrojado de XUE2 usando un $A_v = 8.27$ y $R_v = 4.7$.

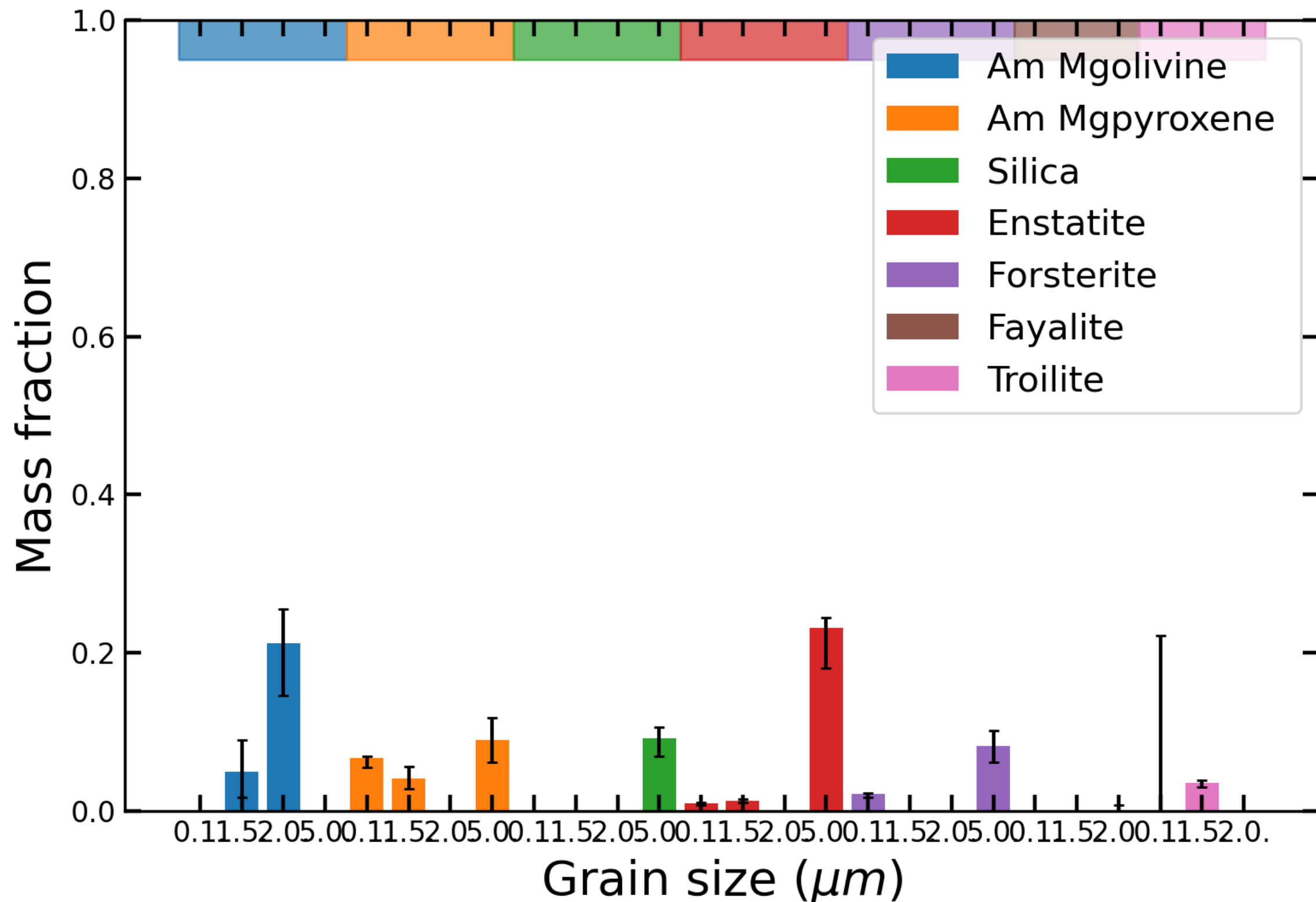


¹H. Jang et al. “Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations”. In: *Astronomy & Astrophysics* (2024). eprint: arXiv:2408.16367.

Resultados

Comparación con PDS70

XUE2



PDS70

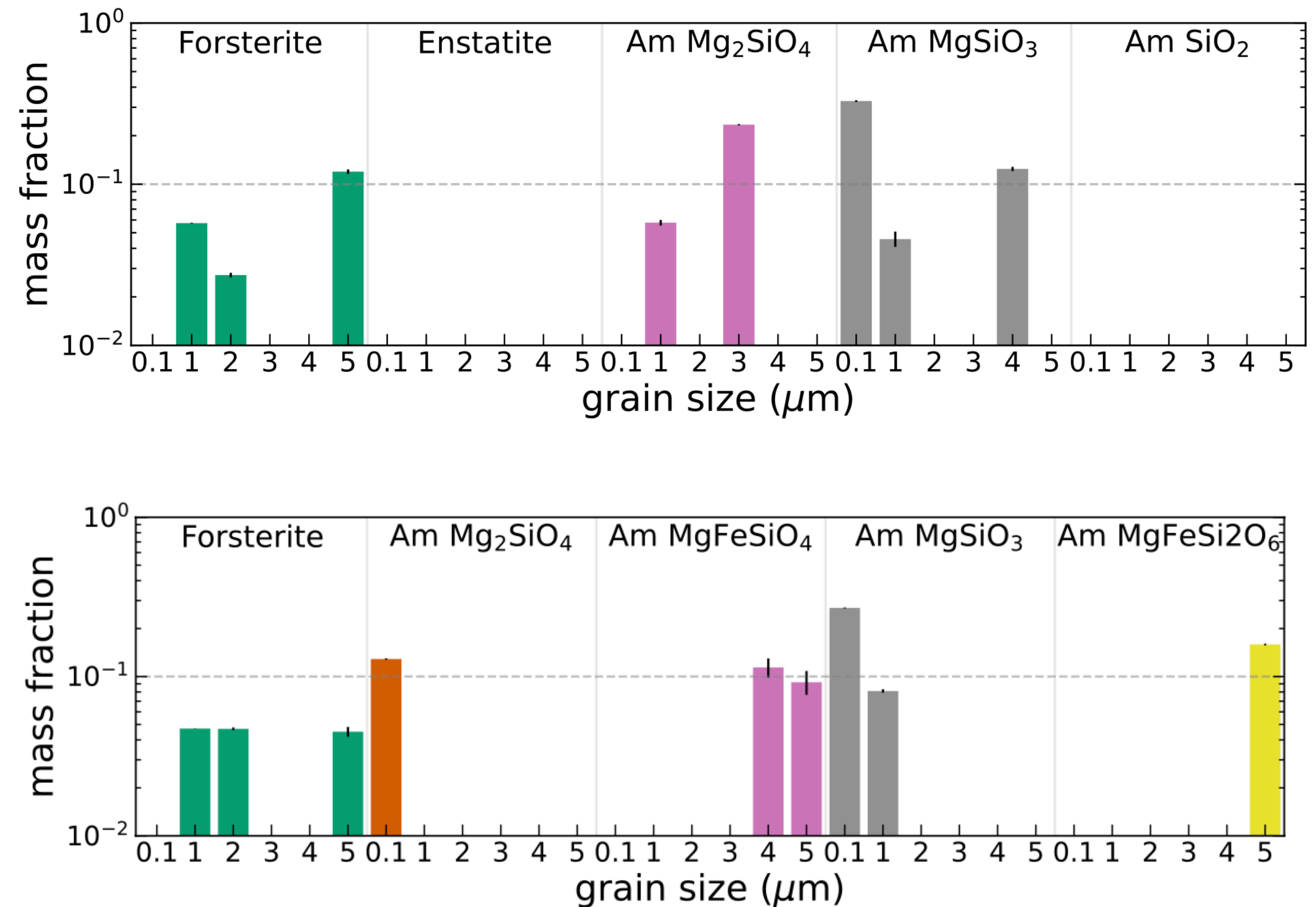


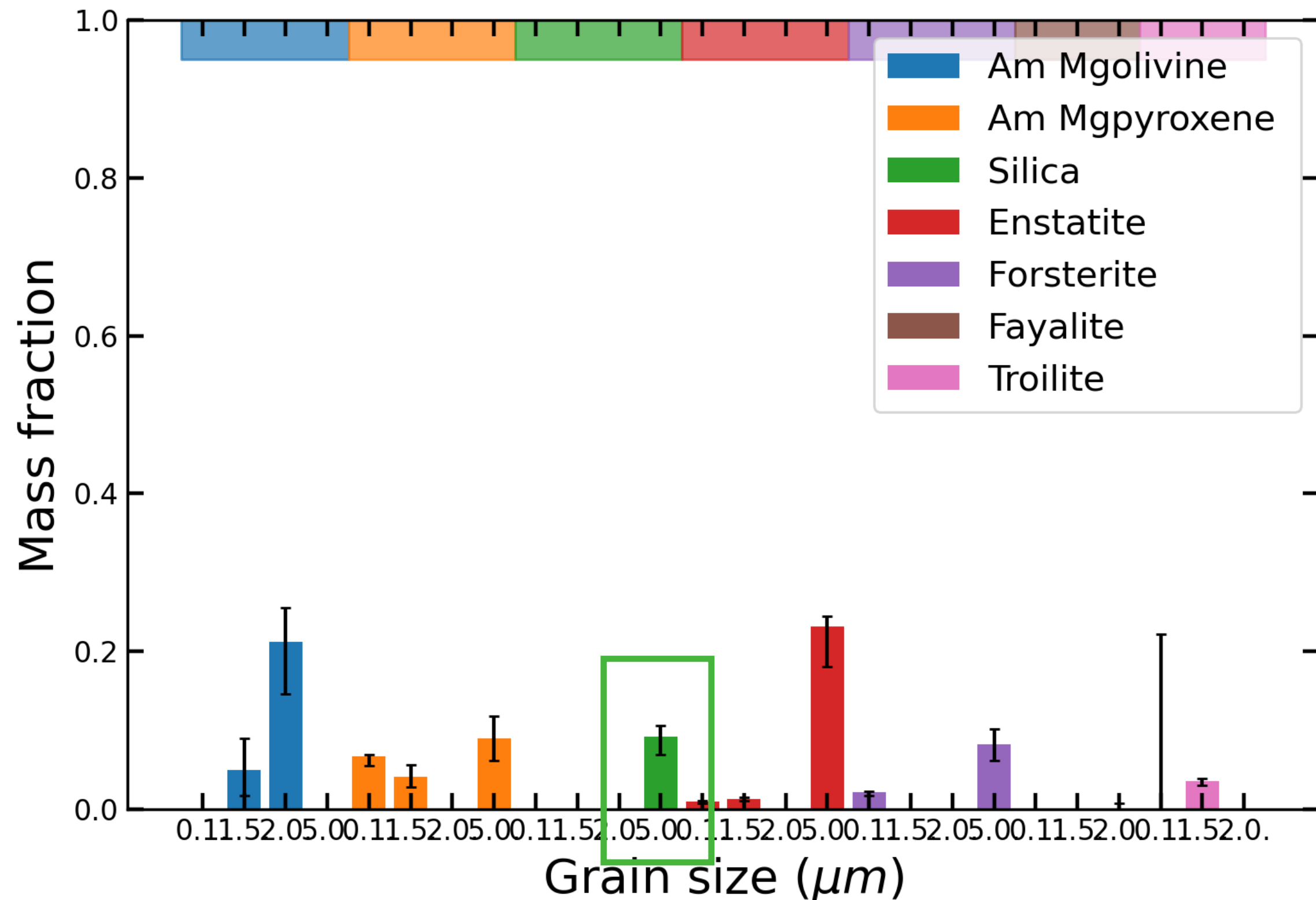
Figura 8. Fracción de masa de diversas especies mineralógicas con su respectivo tamaño en μm encontradas en XUE2.

¹H. Jang et al. "Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations". In: Astronomy & Astrophysics (2024).

Resultados

Comparación con PDS70

XUE2



PDS70

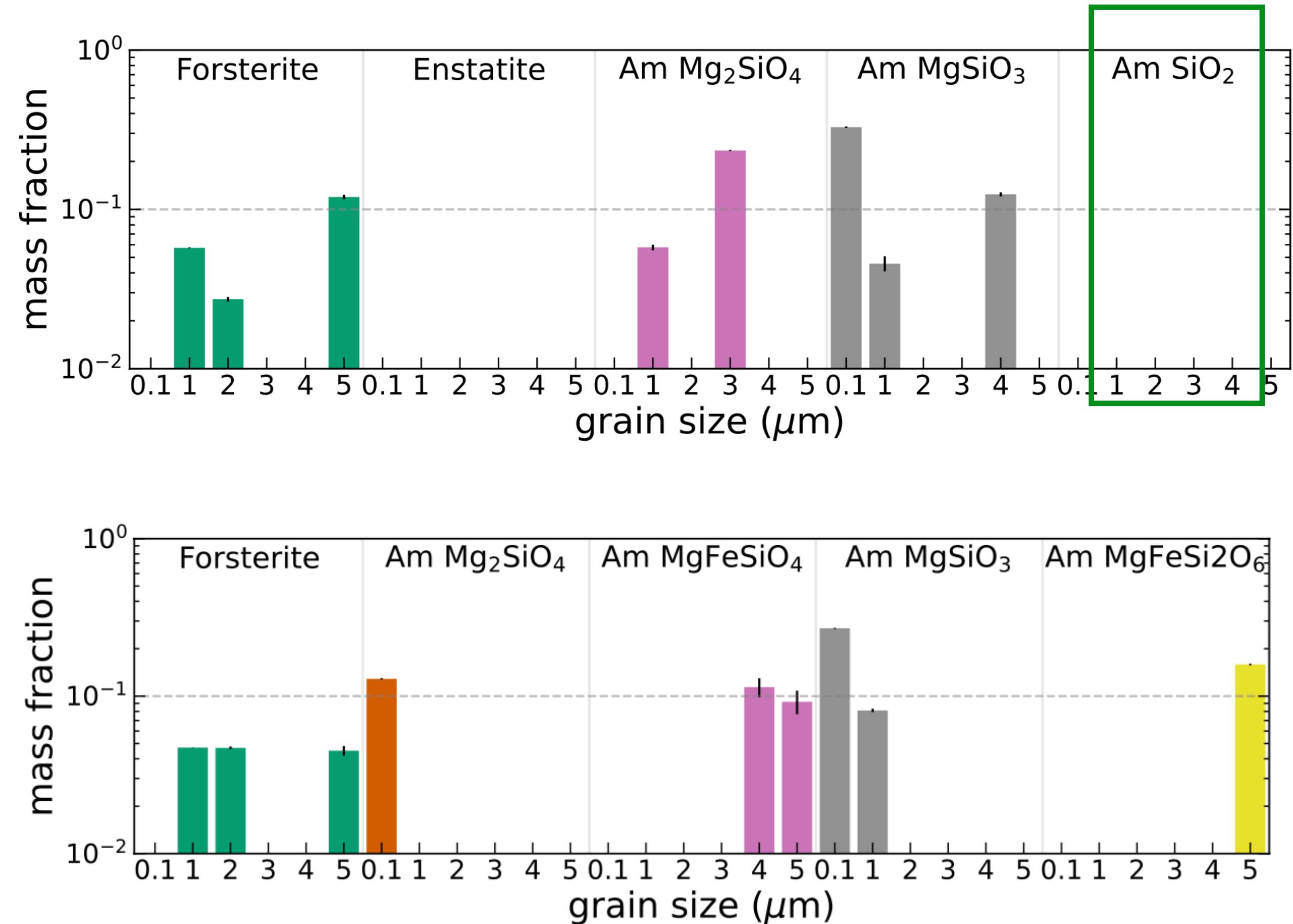


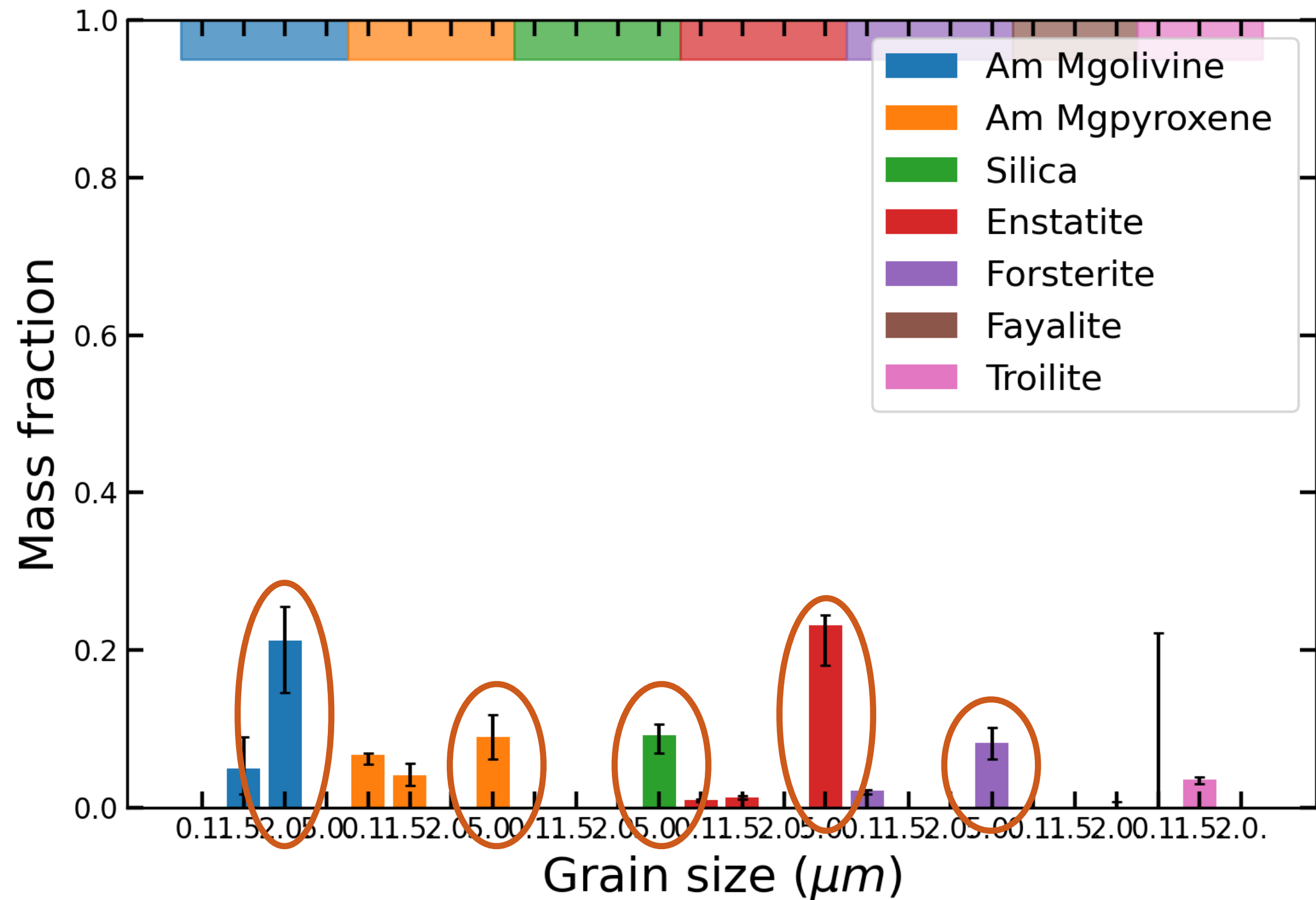
Figura 8. Fracción de masa de diversas especies mineralógicas con su respectivo tamaño en μm encontradas en XUE2.

¹H. Jang et al. “Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations”. In: Astronomy & Astrophysics (2024).

Resultados

Comparación con PDS70

XUE2



PDS70

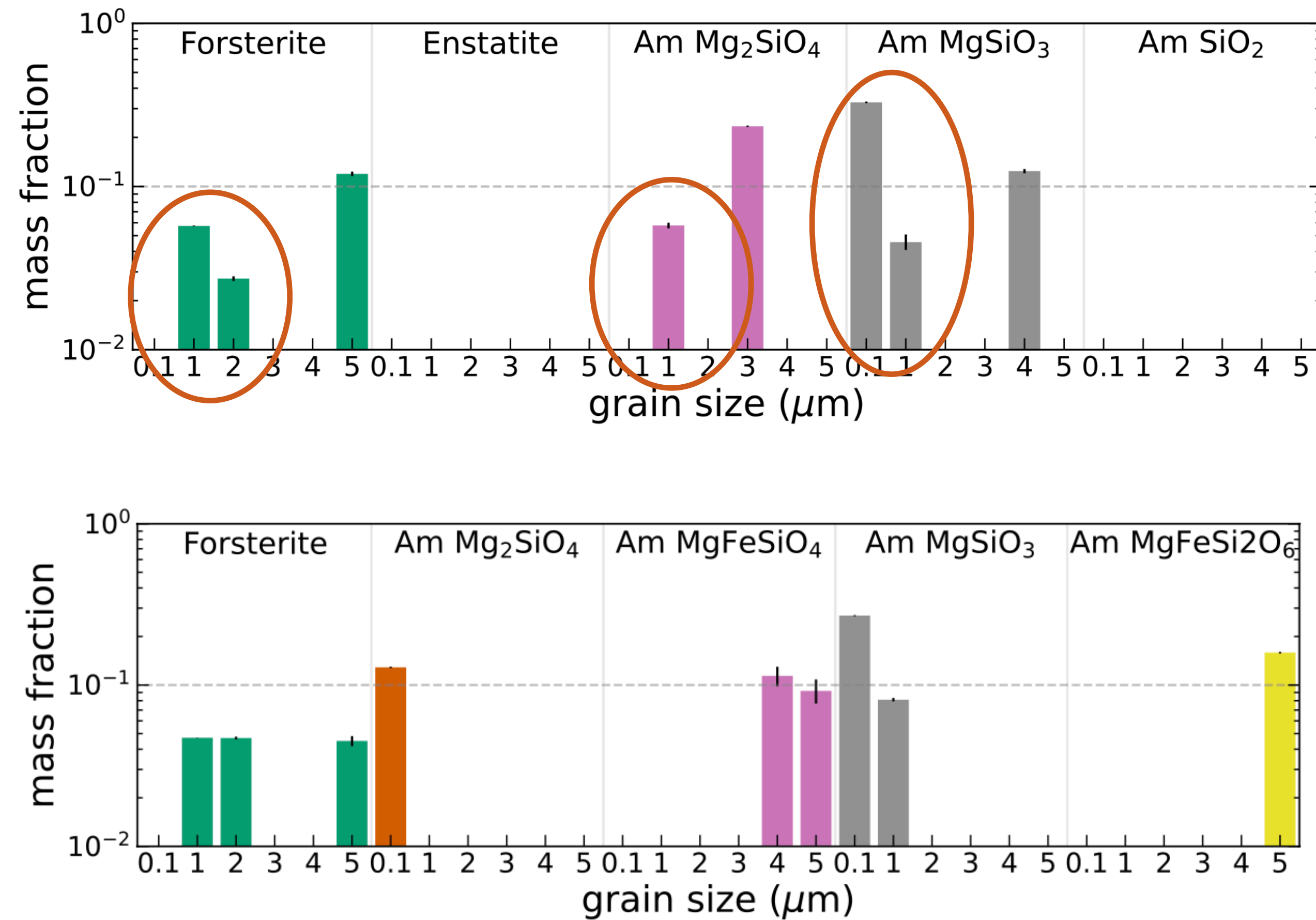


Figura 8. Fracción de masa de diversas especies mineralógicas con su respectivo tamaño en μm encontradas en XUE2.

¹H. Jang et al. "Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations". In: Astronomy & Astrophysics (2024).

Resultados

Comparación con PDS70

XUE2

PDS70

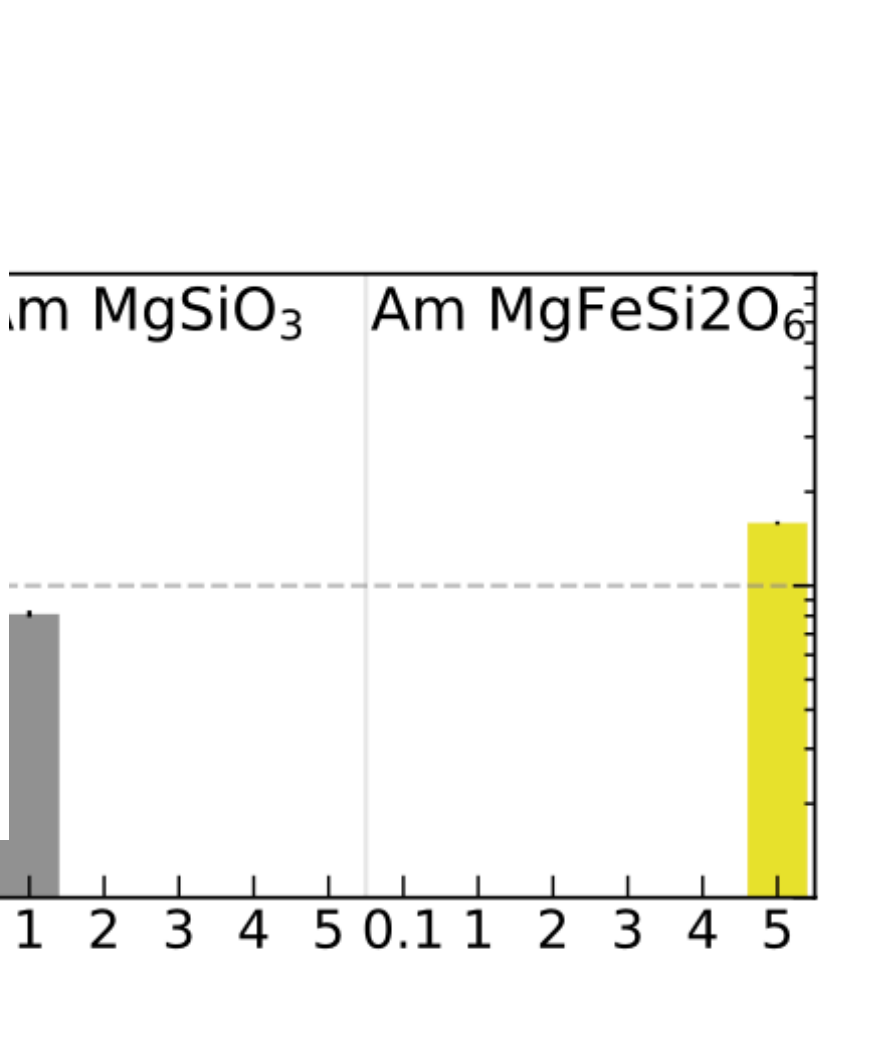
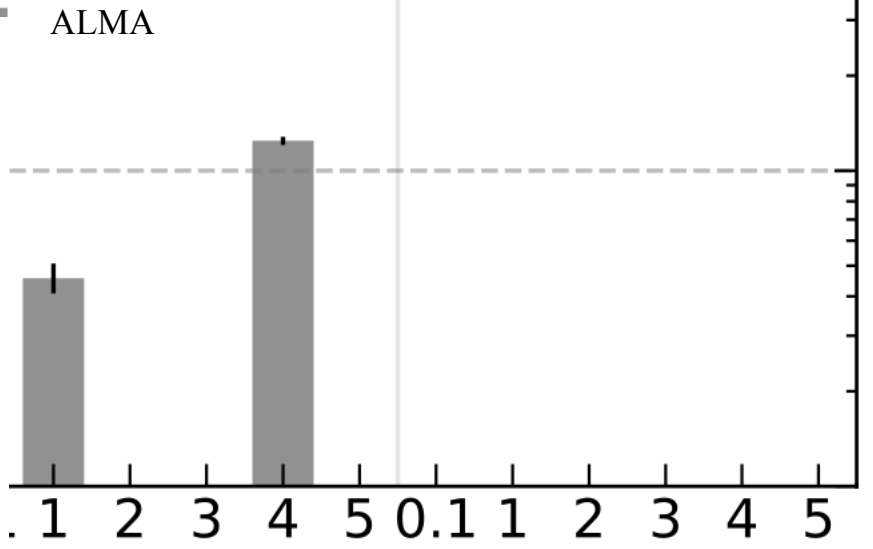
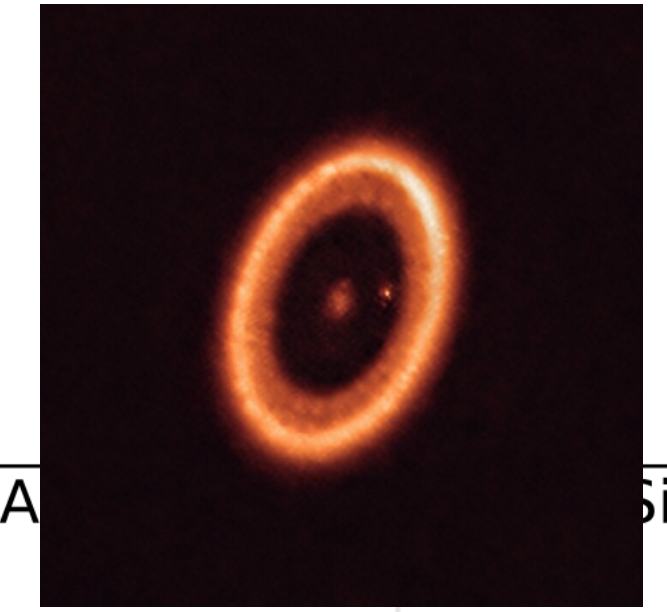
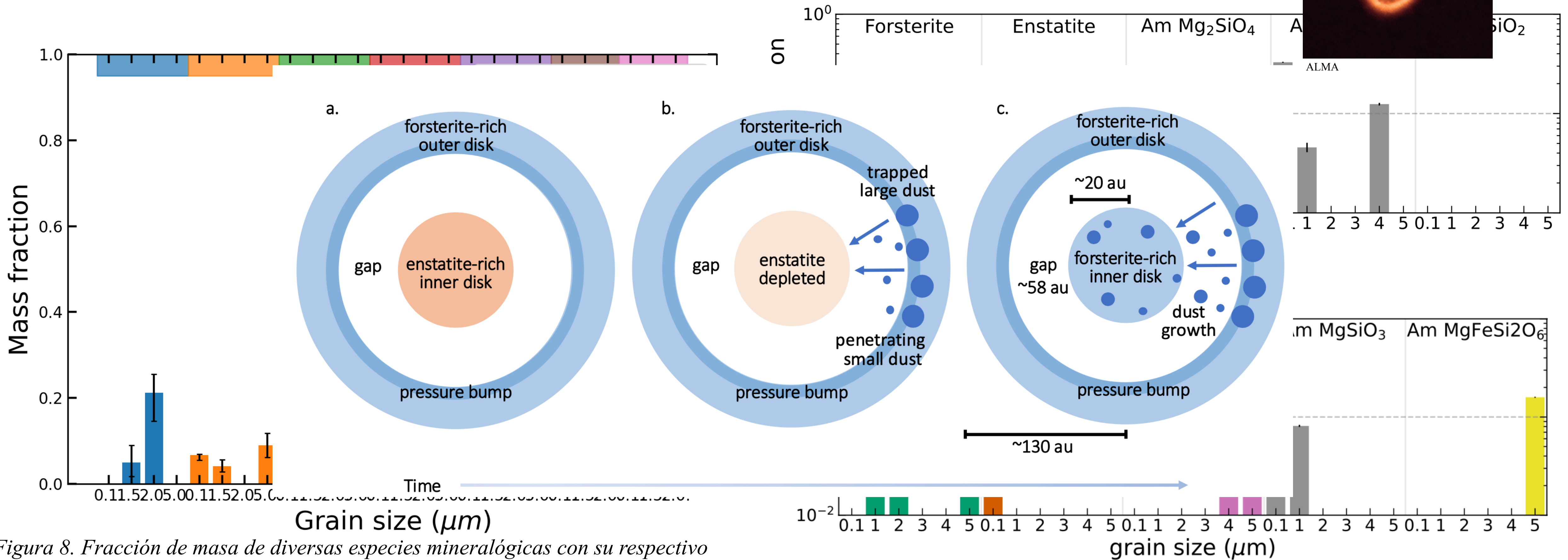


Figura 8. Fracción de masa de diversas especies mineralógicas con su respectivo tamaño en μm encontradas en XUE2.

¹H. Jang et al. "Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations". In: Astronomy & Astrophysics (2024).

Resultados

Comparación con PDS70

XUE2

PDS70

La Enstatita se acreta en la estrella central

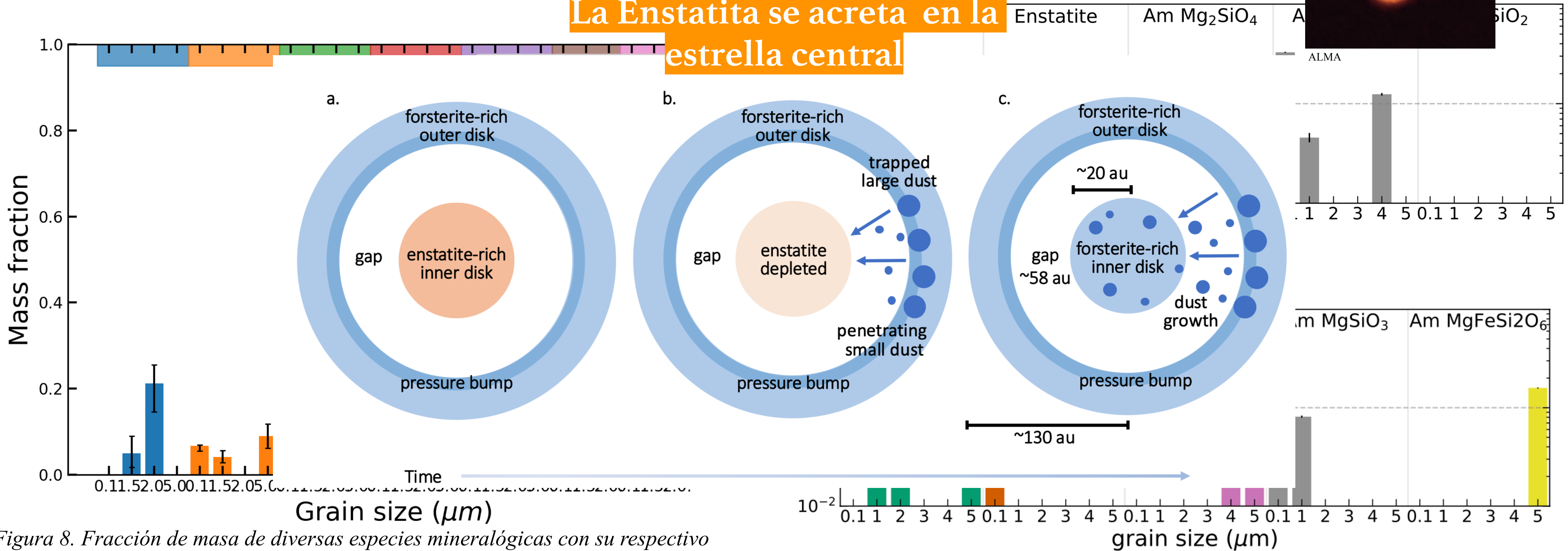


Figura 8. Fracción de masa de diversas especies mineralógicas con su respectivo tamaño en μm encontradas en XUE2.

¹H. Jang et al. "Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations". In: Astronomy & Astrophysics (2024).

Resultados

Comparación con PDS70

XUE2

Es un hueco en polvo, no en gas, lo que permite el arrastre de los granos de polvo más pequeños

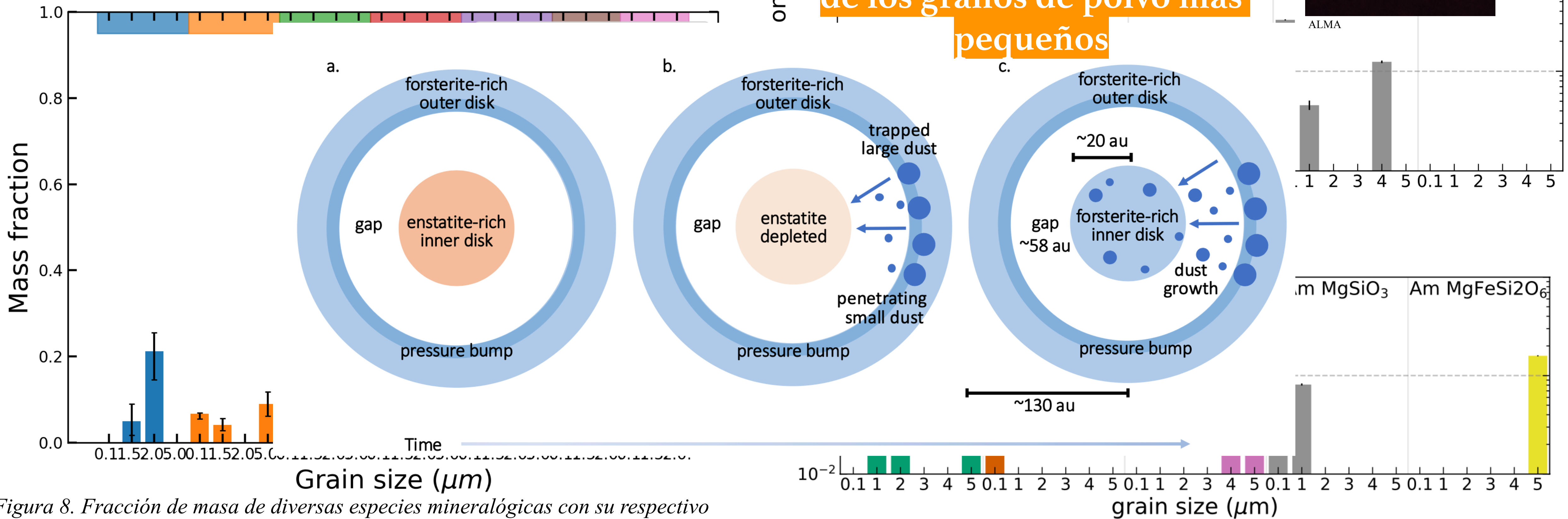
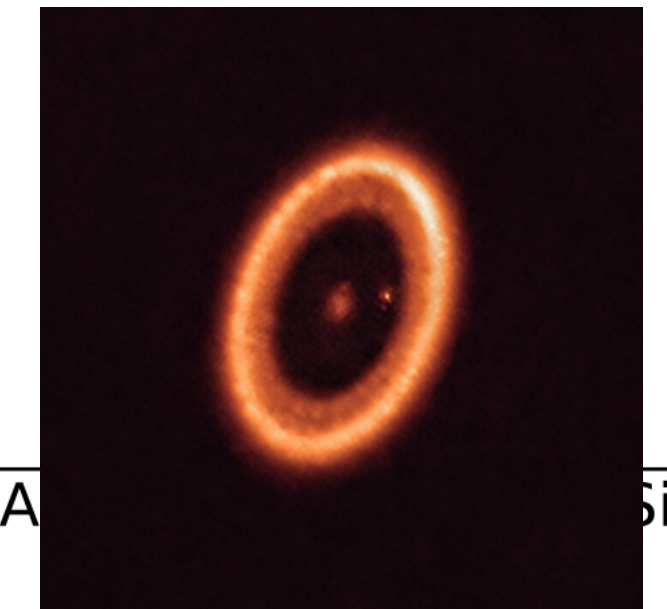


Figura 8. Fracción de masa de diversas especies mineralógicas con su respectivo tamaño en μm encontradas en XUE2.

¹H. Jang et al. "Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations". In: Astronomy & Astrophysics (2024).

Resultados

Comparación con PDS70

XUE2

PDS70

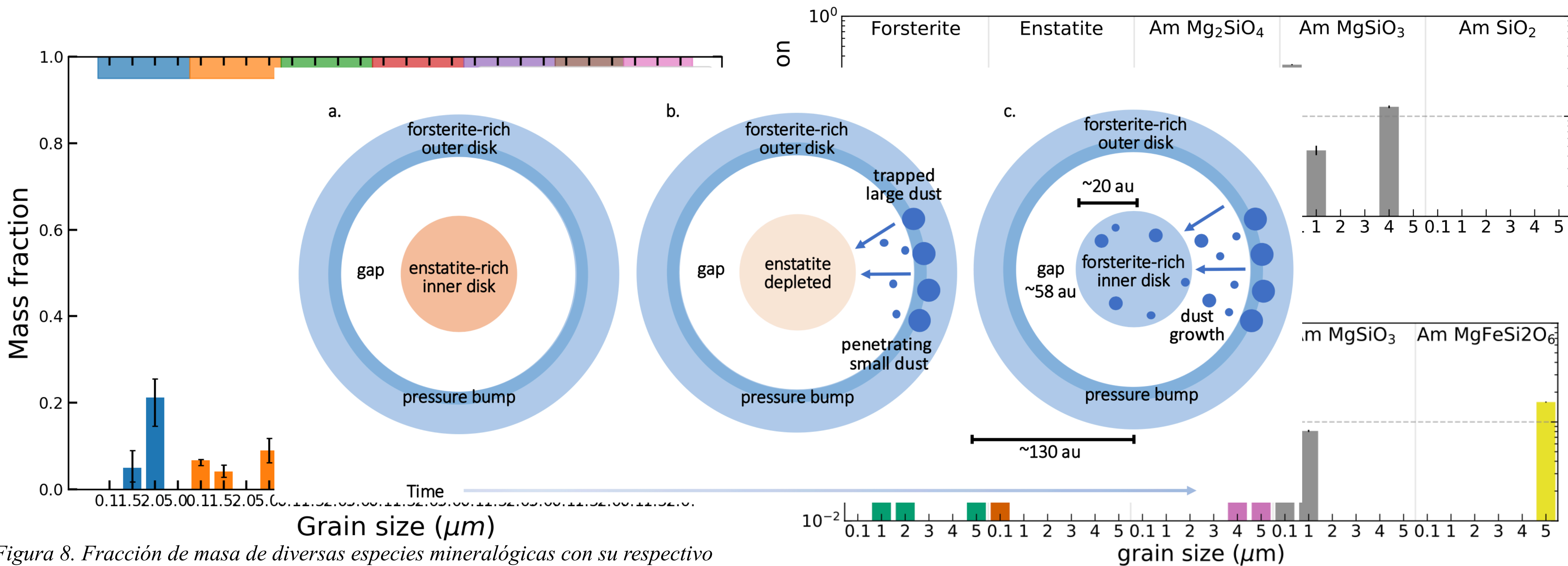


Figura 8. Fracción de masa de diversas especies mineralógicas con su respectivo tamaño en μm encontradas en XUE2.

¹H. Jang et al. "Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations". In: Astronomy & Astrophysics (2024).

Resultados

Comparación con PDS70

XUE2
XUE 2 es un disco protoplanetario más joven ≈ 3 Myr

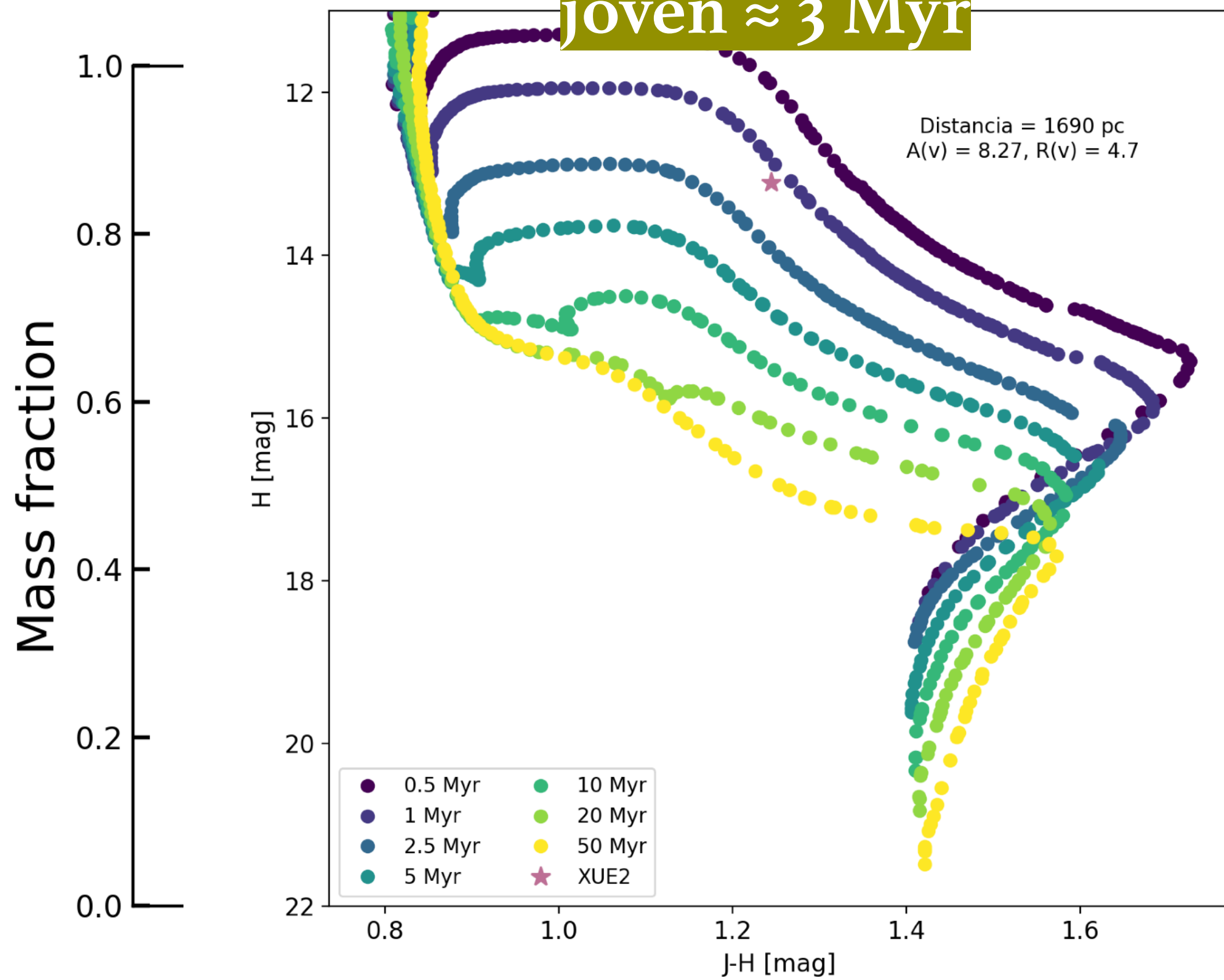
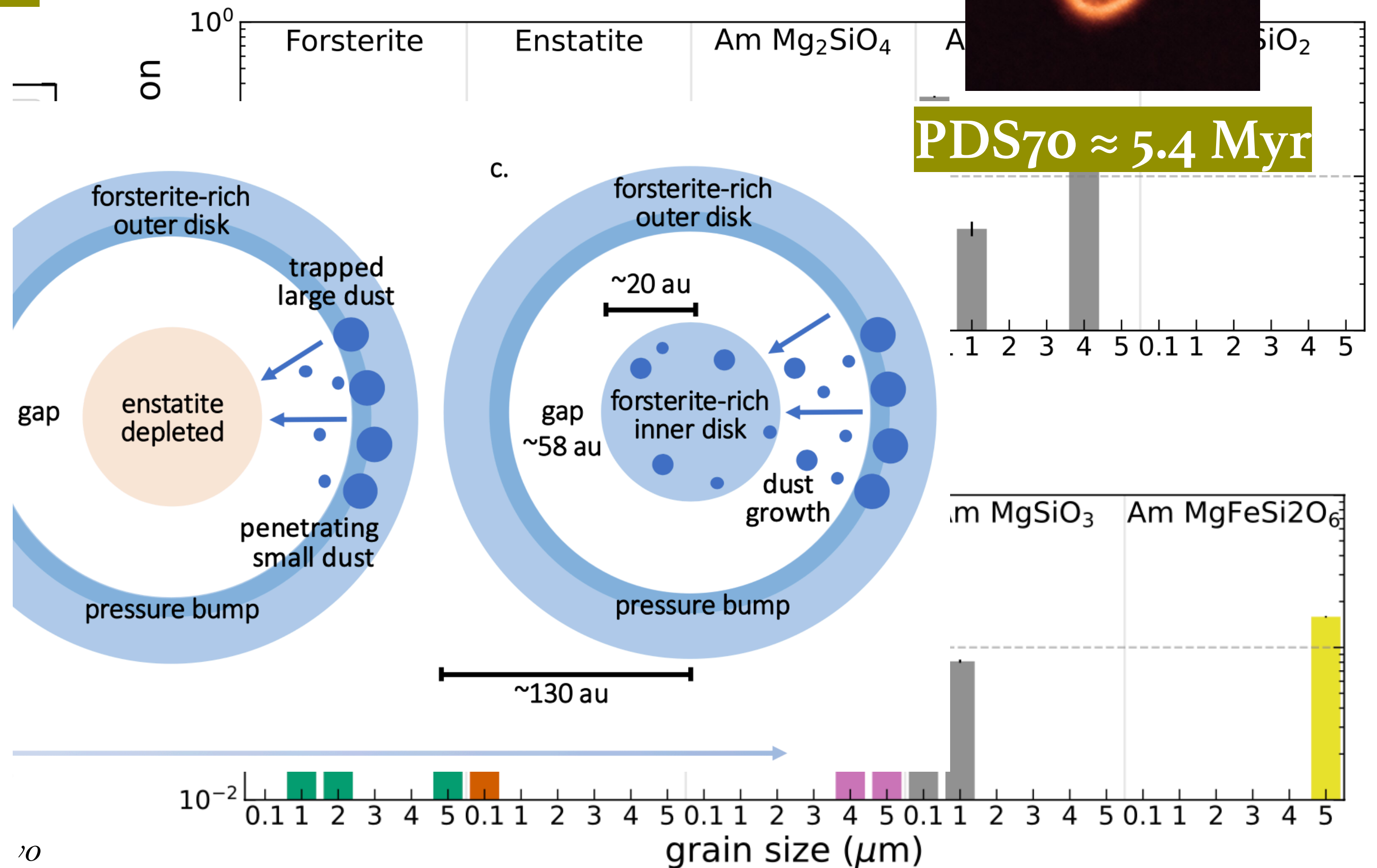


Figura 8. F1

Figura 10. Diagrama color-magnitud: $[H]$ vs $[J-H]$. La estrella representa a XUE2.



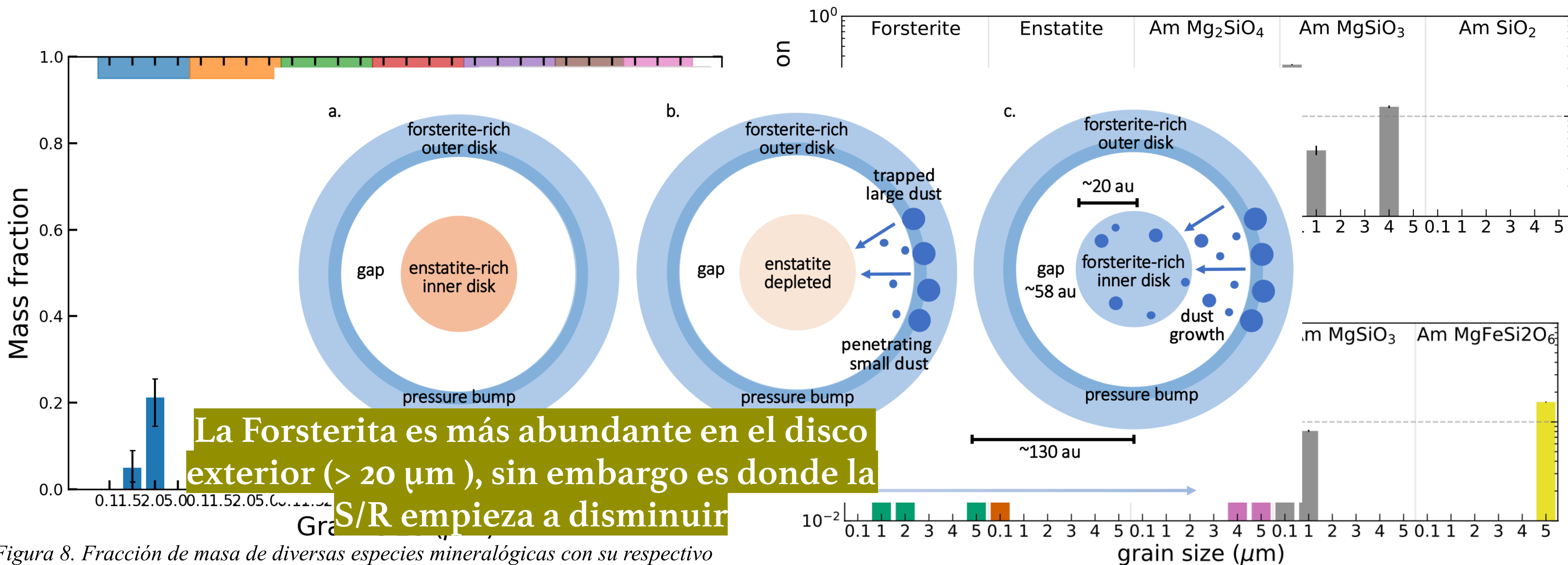
¹H. Jang et al. "Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations". In: Astronomy & Astrophysics (2024).

Resultados

Comparación con PDS70

XUE2

PDS70



La Forsterita es más abundante en el disco exterior (> 20 μm), sin embargo es donde la S/R empieza a disminuir

Figura 8. Fracción de masa de diversas especies mineralógicas con su respectivo tamaño en μm encontradas en XUE2.

¹H. Jang et al. "Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations". In: Astronomy & Astrophysics (2024).

Resultados

Comparación con PDS70

XUE2

PDS70

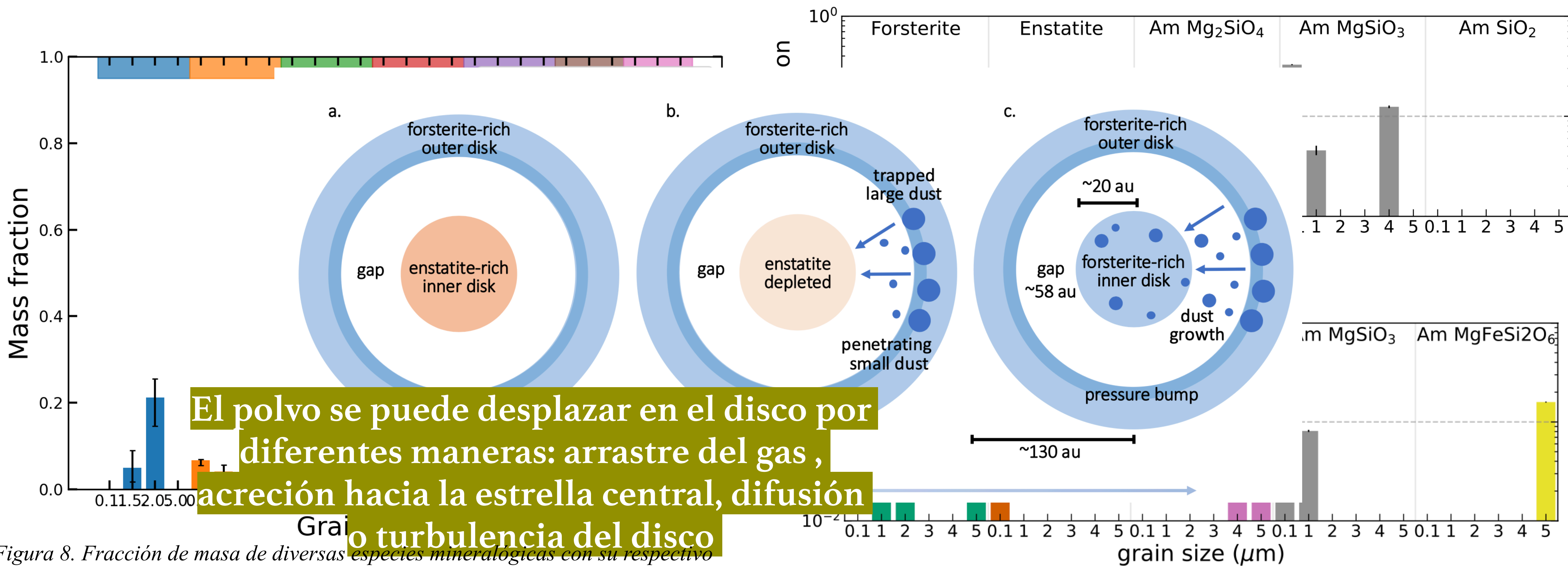


Figura 8. Fracción de masa de diversas especies mineralógicas con su respectivo tamaño en μm encontradas en XUE2.

¹H. Jang et al. "Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations". In: Astronomy & Astrophysics (2024).

Conclusiones

- El análisis del disco protoplanetario XUE2 revela una predominancia de olivino y enstatita en la composición del polvo.
- El tamaño de los granos de polvo tiende a ser más grande (entre 2 y 5 μm), lo que sugiere que el disco podría estar experimentando turbulencia.
- Se identifica la presencia de troilita, mostrando que el disco cuenta con hierro, el cual es especialmente importante en la formación de planetas tipo mercurio.
- Los resultados muestran que no hay una gran diferencia en composición mineralógica con un disco no irradiado como es PDS 70.

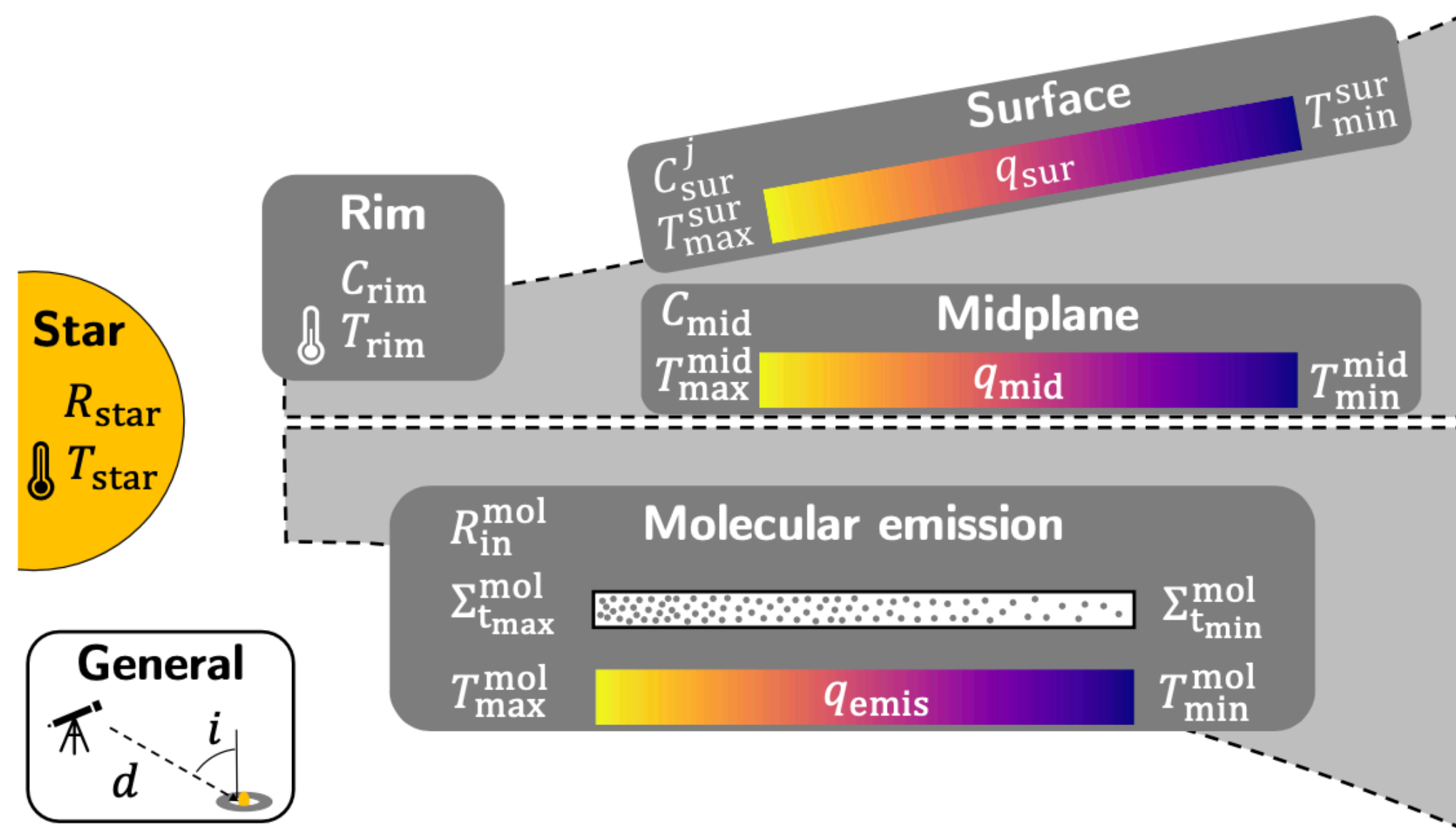
Agradecimientos

- La Universidad Nacional de Colombia apoyó este trabajo vía proyecto QUIPU 202010042199 y MinCiencias a través del Conv. 937.

Muchas gracias 

Ajuste del espectro usando DuCK

Dust Continuum Kit with Line emission from Gas (DuCKLinG)



$$F_{\nu} = F_{\nu}^{star} + F_{\nu}^{rim} + F_{\nu}^{mid} + F_{\nu}^{sur}$$

Permite analizar el polvo en discos protoplanetarios al realizar un ajuste con el continuo del polvo

¹T. Kaeufer, M. Min, P. Woitke, I. Kam, and A. M. Arabhavi. "Bayesian Analysis of Molecular Emission and Dust Continuum of Protoplanetary Disks". In: Arxiv (2024).

Ajuste del espectro usando DuCK

Dust Continuum Kit with Line emission from Gas (DuCKLinG)

- F_{ν}^{star} : Describe el flujo de la estrella, calculado a partir de un espectro estelar o de un cuerpo negro modelado (B_{ν}), con una temperatura T_{star} , un radio r_{star} , y la distancia del objeto d .

$$F_{\nu}^{star} = \frac{\pi R_{star}^2}{d^2} \mathcal{B}_{\nu} (T_{star})$$

- F_{ν}^{rim} : Describe la emisión proveniente del borde interno del disco (emisión de polvo caliente y ópticamente grueso), a partir de la función de Planck, a la temperatura T_{rim} y un factor de escala c_{rim} , que representa el tamaño del área emisora del borde interno.

$$F_{\nu}^{rim} = \frac{A_{rim}}{d^2} \mathcal{B}_{\nu} (T_{rim}) \cdot \underbrace{c_{rim}}$$

¹T. Kaeufer, M. Min, P. Woitke, I. Kam, and A. M. Arabhavi. “Bayesian Analysis of Molecular Emission and Dust Continuum of Protoplanetary Disks”. In: Arxiv (2024).

²H. Jang et al. “Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations”. In: Astronomy & Astrophysics (2024). eprint: arXiv:2408.16367.

Ajuste del espectro usando DuCK

Dust Continuum Kit with Line emission from Gas (DuCKLinG)

- F_{ν}^{mid} : Describe la emisión de polvo ópticamente grueso originada en la capa del disco donde la profundidad óptica es 1, que puede ser aproximada por una ley de potencias de temperatura radial con el exponente (q_{mid}) entre las temperaturas mínimas ($T_{\text{mid,min}}$) y máximas ($T_{\text{mid,max}}$) y otro factor de escala (c_{mid}).

$$F_{\nu}^{\text{mid}} = \cos i \int_{R_{\text{mid}}^{\text{min}}}^{R_{\text{mid}}^{\text{mid}}} \frac{2\pi r}{d^2} \mathcal{B}_{\nu}(T_{\text{mid}}(r)) dr, \quad T_{\text{mid}}(r) = T_{\text{mid,max}}^{\text{mid}} \left(\frac{r}{R_{\text{mid}}^{\text{min}}} \right)^{q_{\text{mid}}}$$

$$F_{\nu}^{\text{mid}} = \underbrace{\frac{-2\pi \cos i (R_{\text{mid}}^{\text{min}})^2}{d^2 q_{\text{mid}} T_{\text{mid}}^{\text{mid}} (2/q_{\text{mid}})}}_{c_{\text{mid}}} \int_{T_{\text{mid}}^{\text{min}}}^{T_{\text{mid}}^{\text{mix}}} \mathcal{B}_{\nu}(T) T^{(2-q_{\text{mid}})/q_{\text{mid}}} dT$$

¹T. Kaeufer, M. Min, P. Woitke, I. Kam, and A. M. Arabhavi. “Bayesian Analysis of Molecular Emission and Dust Continuum of Protoplanetary Disks”. In: Arxiv (2024).

²H. Jang et al. “Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations”. In: Astronomy & Astrophysics (2024). eprint: arXiv:2408.16367.

Ajuste del espectro usando DuCK

Dust Continuum Kit with Line emission from Gas (DuCKLinG)

- $F_{\nu,j}^{sur}$: Describe la emisión total de polvo ópticamente delgado. Puede ser aproximada por una ley de potencias de temperatura radial con el exponente (q_{sur}) entre las temperaturas mínimas ($T_{sur,min}$) y máximas ($T_{sur,max}$) y otro factor de escala (C_{sur}).

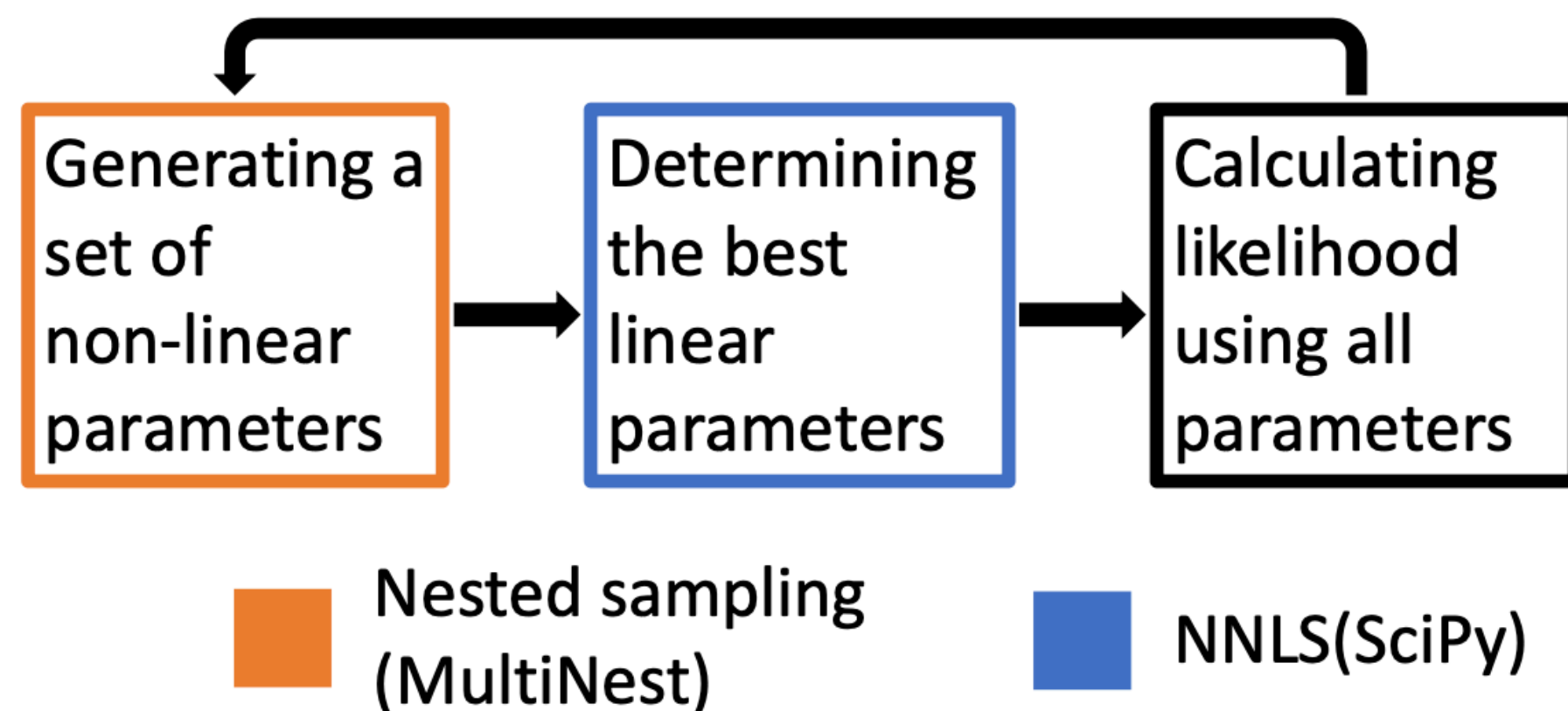
$$F_{\nu,j}^{sur} = \underbrace{\frac{-2\pi \cos i (R_{min}^{sur})^2}{d^2 q_{sur} T_{max}^{sur(2/q_{sur})}}}_{C_{sur}^j} N_d^j \sigma_{\nu}^j \int_{T_{min}^{sur}}^{T_{max}^{sur}} \mathcal{B}_{\nu}(T) T^{(2-q_{sur})/q_{sur}} dT$$

¹T. Kaeufer, M. Min, P. Woitke, I. Kam, and A. M. Arabhavi. “Bayesian Analysis of Molecular Emission and Dust Continuum of Protoplanetary Disks”. In: Arxiv (2024).

²H. Jang et al. “Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations”. In: Astronomy & Astrophysics (2024). eprint: arXiv:2408.16367.

Ajuste del espectro usando DuCK

Dust Continuum Kit with Line emission from Gas (DuCKLinG)



- *Multinest* (Método bayesiano): Determinar los parámetros de temperatura (T_{rim} , $T_{\text{mid,min}}$, $T_{\text{mid,max}}$, T_{sur} y q_{mid}).
- NNLS (*Ajuste de mínimos cuadrados no negativos se Scipy*): Determinar los parámetros de escala y las abundancias de polvo.
- La calidad del ajuste se mide calculando la probabilidad usando todos los parámetros.

¹T. Kaeufer, M. Min, P. Woitke, I. Kam, and A. M. Arabhavi. “Bayesian Analysis of Molecular Emission and Dust Continuum of Protoplanetary Disks”. In: Arxiv (2024).

²H. Jang et al. “Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations”. In: Astronomy & Astrophysics (2024). eprint: arXiv:2408.16367.

Ajuste del espectro usando DuCK

Dust Continuum Kit with Line emission from Gas (DuCKLinG)

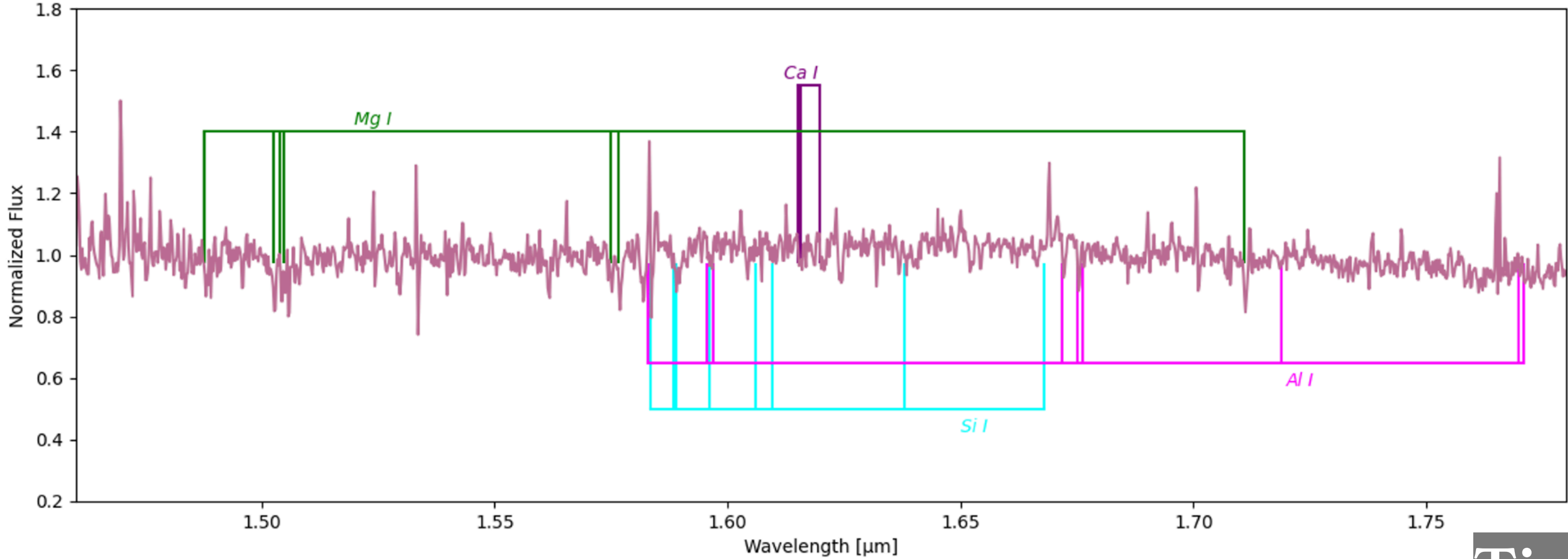
DHS: Distribución de Esferas Huecas, proporciona una distribución para la fracción de espacio vacío dentro de una esfera hueca y mide su opacidad¹.

- Distribución radial (se distribuye en capas)
- Densidad de partículas (Representar concentraciones no uniformes)
- $f_{max} = 0.99$ (Estructuras cristalinas) y $f_{max} = 0.7$ (Estructuras amorfas)

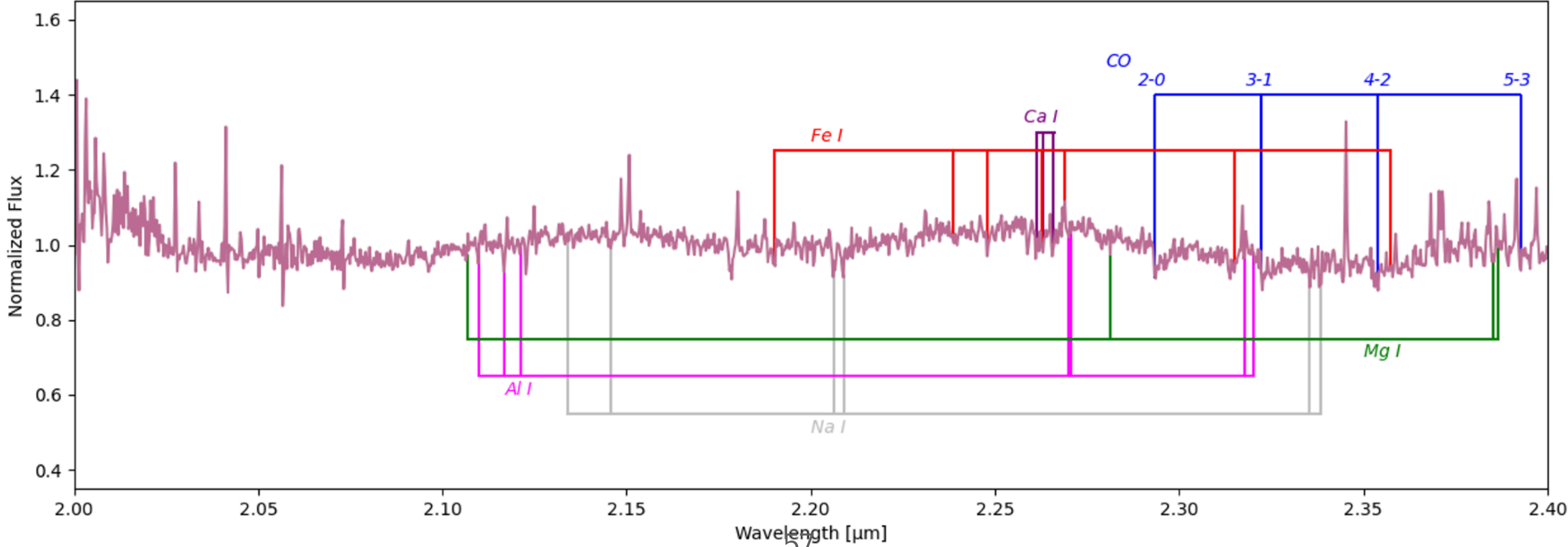
¹Min, M., Hovenier, J. W., & de Koter, A. 2005, A&A, 432, 909

Resultados

Clasificación espectral

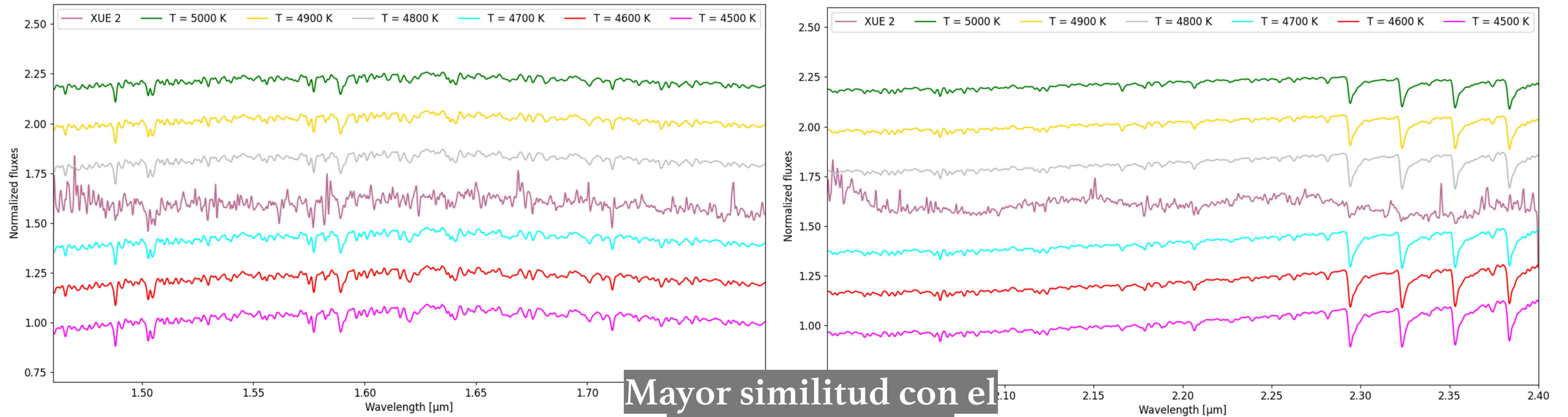


Tipo espectral K₃-K₄V



Resultados

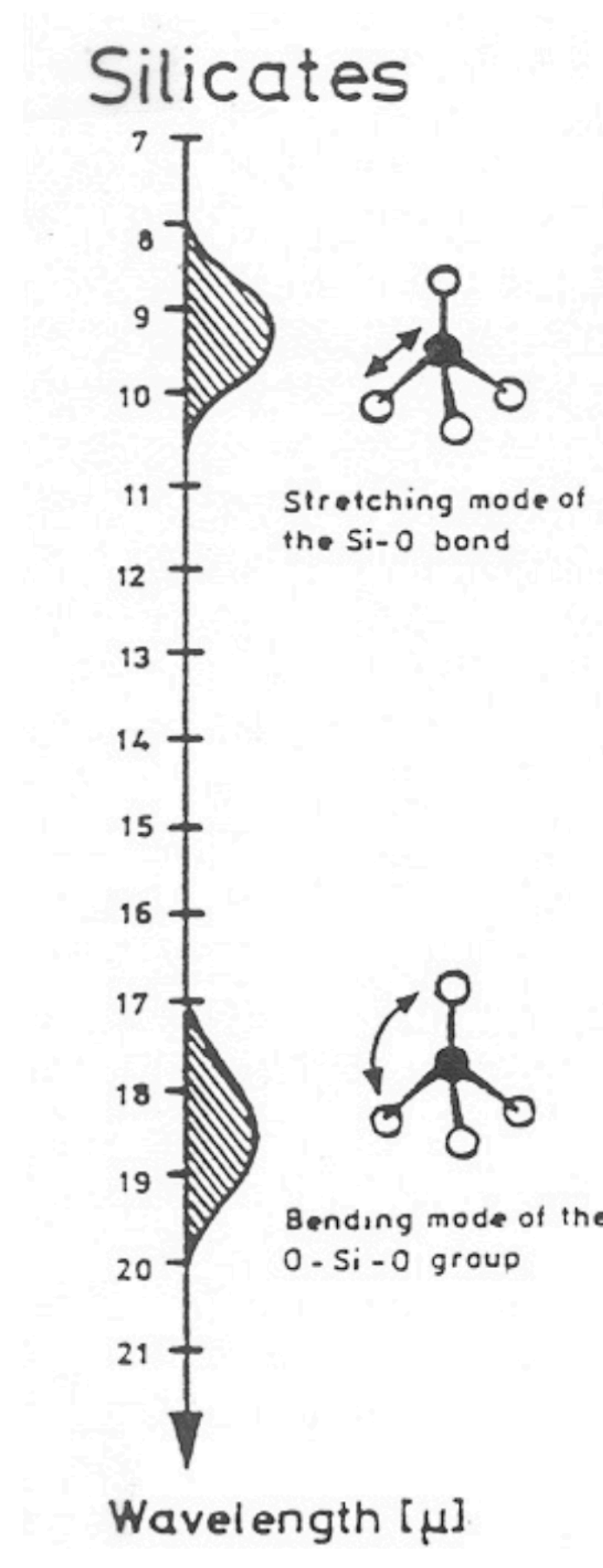
Determinación de la temperatura



Mayor similitud con el
espectro a 4700 K

Polvo en los discos protoplanetarios

Composición mineralógica



Ejemplos de especies
Am MgOlivino (Mg_2SiO_4)
Am MgPiroxeno (MgSiO_3)
Am Silica (SiO_2)
Enstatita (MgSiO_3)
Forsterita (Mg_2SiO_4)
Fayalita ($(\text{Fe}^{2+})_2\text{SiO}_4$)
Troilita (FeS)