

EXTRAYENDO INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN INVISIBLE PROVENIENTE DEL UNIVERSO CERCANO

Análisis del medio interestelar en galaxias cercanas usando observaciones en infrarrojo, ondas milimétricas y radio.

El presente trabajo detalla el estudio del medio interestelar en galaxias cercanas utilizando observaciones en el rango infrarrojo, ondas milimétricas y de radio. Se estudian los dos componentes principales del medio interestelar, como son el polvo y gas interestelar. Describiremos la metodología utilizada para derivar los parámetros del polvo interestelar a través del modelamiento de la radiación infrarroja. Finalmente presentamos las distribuciones de las componentes en las galaxias estudiadas y cómo podemos obtener ciertas relaciones entre ellas.

• **Basilio Solís Castillo**

Profesor Asociado y Académico carrera Licenciatura en Astronomía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, sede Coquimbo, Universidad Central de Chile.

Introducción

A diferencia de las galaxias más alejadas que se han descubierto y que llenan los titulares de diversos medios de comunicación, el Universo cercano nos da la posibilidad de estudiar en detalle las características y distribución de la materia presente en el medio interestelar. Estas galaxias nos sirven de referencia para el estudio de aquellas regiones muy distantes y de las cuales aún se tiene poca información y, adicionalmente, nos permiten realizar comparaciones con nuestra propia galaxia, para así conocer con mayor exactitud los diferentes fenómenos que allí ocurren.

El medio interestelar de las galaxias está dominado por dos componentes: el gas y el polvo interestelar. La abundancia de gas en una galaxia es una cantidad muy importante ya que nos permite estimar la cantidad de estrellas que se forman en un tiempo dado [1], lo cual es conocido como la tasa de formación estelar. Dado que el gas interestelar, principalmente dominado por Hidrógeno, puede encontrarse en forma molecular o atómica se requieren observaciones en diferentes longitudes de onda para estimar su masa. Por una parte, las ondas milimétricas nos permiten estimar el hidrógeno molecular y por otra, las ondas de radio entregan información respecto a la abundancia de hidrógeno atómico. Ambas componentes dominan la masa del material interestelar en las galaxias.

A pesar de que el polvo interestelar comprende cerca del 1% de la masa del medio



Figura 1

Imagen de la galaxia NGC 628 que combina la emisión infrarroja en 3.6 (azul), 5.8 (verde) y 8.0 (rojo) μm . Crédito: NASA/JPL-Caltech.

interestelar, su estudio es de vital importancia para entender la dinámica y distribución de la materia. El polvo está formado principalmente por pequeños granos de tamaños que van desde 5 Å a alrededor de 100 μm . La presencia de estos granos en el medio interestelar modela la emisión de energía proveniente de las galaxias, debido a su rol en la absorción de la radiación óptica y ultravioleta proveniente principalmente de estrellas jóvenes, para luego re-emitirla en longitudes de onda del infrarrojo, ondas milimétricas y sub-milimétricas [2]. Un ejemplo de ello podemos observarlo en la imagen de la galaxia NGC 628 (Fig. 1) que combina diferentes longitudes de onda del infrarrojo. A pesar de su importancia, muchos detalles de la composición, formación y dinámica del polvo interestelar aún son desconocidos.

Diversos estudios han revelado que existe una relación entre ambas componentes del medio interestelar [3]. El polvo interestelar actúa como escudo y provee además una superficie en donde las moléculas más complejas se puedan formar, por lo que su abundancia se relaciona directamente con la cantidad de gas molecular existente en una determinada región. A pesar de ello, aún existe incerteza en los diferentes parámetros utilizados para derivar estas componentes de las observaciones. Es allí que la metodología utilizada cobra especial relevancia.

En el presente trabajo, nos enfocaremos en el estudio del gas y polvo interestelar presente en galaxias cercanas. En primer lugar, presentaremos las fuentes de las cuales se extrajeron los datos para nuestro estudio, posteriormente explicaremos la nueva metodología utilizada para poder estimar el polvo interestelar. Finalmente mostraremos cómo estos datos fueron utilizados para estudiar la distribución del polvo y gas interestelar en las galaxias cercanas.

Obtención de los datos

Dada la diversidad de los datos necesarios para estimar las componentes del medio interestelar, requerimos de diferentes mapeos del universo cercano realizados en el último tiempo. Para la derivación del polvo interestelar utilizamos las observaciones obtenidas por los observatorios espaciales Spitzer [4] y Herschel [5] agrupados en los surveys SINGS [6] y KINGFISH [7]. En ellos se cubre la porción del infrarrojo e infrarrojo lejano abarcando un rango

de longitud de onda de 3.6 a 500 μm . Por otra parte, la componente del gas interestelar fue estimada de las observaciones milimétricas y de radio obtenidas por el radiotelescopio IRAM [8] y el VLA [9], respectivamente. Las observaciones realizadas por IRAM en la longitud de onda de 1.3 mm nos entrega información sobre la abundancia de la molécula de monóxido de carbono (^{12}CO), que es usado comúnmente como trazador del hidrógeno molecular. Finalmente, las observaciones en la longitud de onda de 21 cm realizadas por el VLA nos permiten estudiar la componente de hidrógeno atómico. De estos observatorios nos concentramos en los surveys HERACLES [10] y THINGS [11], respectivamente.

Para poder combinar la información proveniente de estas observaciones, obtenidas por diferentes instrumentos y longitudes de onda (ver Fig. 2), se requiere de un proceso intermedio, la convolución de los datos a la misma resolución. Esto nos permite combinar y comparar los datos de cada galaxia independiente de su fuente. El producto final son imágenes de las galaxias en diferentes longitudes de onda pero en la misma escala y resolución, donde cada pixel tiene la misma escala física, que varía entre 0.5 a 2.53 kpc de diámetro, dependiendo de la distancia de cada galaxia con respecto a la nuestra.

Otro aspecto a considerar es la cantidad de metales presentes en las galaxias y que se denomina metalicidad. Esta se mide principalmente a través de la abundancia relativa entre elementos más pesados como el oxígeno, con respecto a los más livianos, como el hidrógeno. De ahí el que trazador de metalicidad más utilizado en el contexto extragaláctico sea la razón O/H, que normalmente se mide como: $10 + \log(\text{O}/\text{H})$.

Para nuestro estudio utilizamos la metalicidad en galaxias cercanas reportadas en Ref. [12], que debido a su poca distancia con respecto a la Vía Láctea permiten además derivar cómo esta abundancia de metales varía con respecto al radio, una cantidad conocida como el gradiente de metalicidad. La metalicidad y el gradiente reportados en Ref. [12] serán utilizadas para poder obtener la cantidad de metales en cada región de cada galaxia.

Debido a que los granos de polvo interestelar están principalmente compuestos por silicatos, hielo y carbono, existe una relación intrínseca con la cantidad de metales existentes. Es por ello que para tener un entendimiento mayor de lo que sucede en el medio interestelar, la metalicidad es un factor muy relevante.

Modelación del polvo interestelar

A diferencia del gas y de la metalicidad que pueden ser derivadas directamente de las observaciones en las longitudes de onda anteriormente mencionadas, la estimación del polvo interestelar es algo más compleja. Para ello es necesario entender el rol que los granos de polvo juegan en el medio interestelar. Estos granos absorben la radiación, principalmente ultravioleta, proveniente de sistemas estelares muy jóvenes. Debido al principio de mínima energía, los granos de polvo re-emiten la radiación absorbida, pero en una longitud de onda más larga, en este caso en la región del infrarrojo e infrarrojo lejano ($\lambda > 1 \mu\text{m}$). Esta radiación proveniente de los granos de polvo puede ser modelada como un cuerpo negro con una opacidad que es dependiente de la frecuencia y que considera diferentes componentes del polvo. El modelo más simple, que asume la presencia de una sola componente del polvo, considera tres parámetros: masa, temperatura e índice espectral, también conocido como emisividad. Por lo tanto, dada la emisión en las diferentes longitudes de onda podemos ajustar la mejor curva y derivar estos tres parámetros del polvo interestelar para cada región o pixel (ver figura 3).

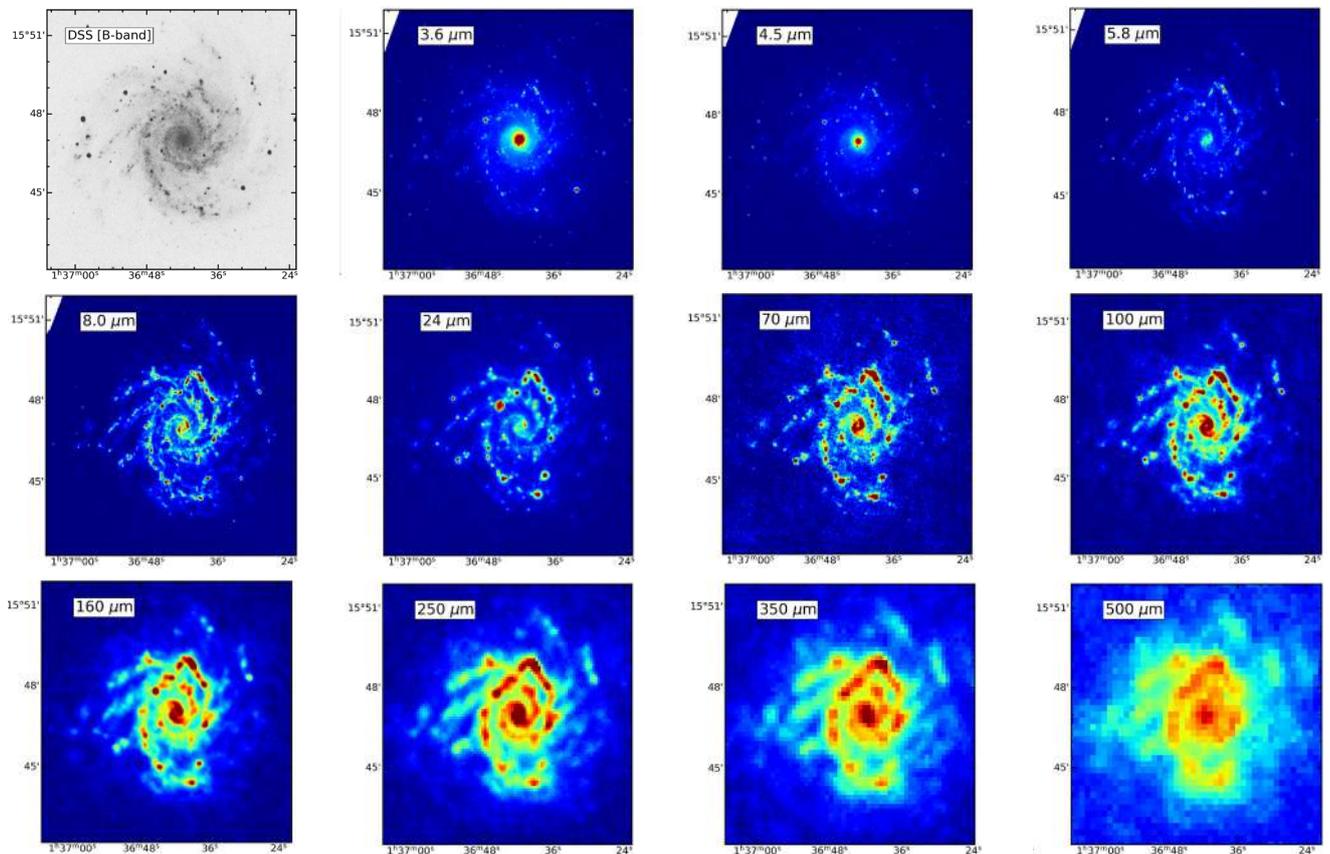


Figura 2

Mapas de intensidad específica de la galaxia NGC 628 en un rango de longitudes de onda que incluye el rango óptico (B-band) y el infrarrojo de 3.6 a 500 μm .

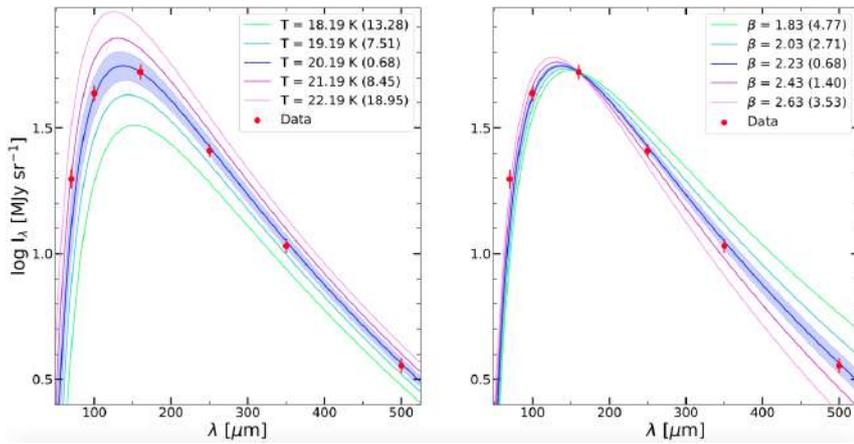


Figura 3

Intensidad específica en función de la longitud de onda para una región de la galaxia NGC 628. Los puntos rojos denotan la intensidad en cada longitud de onda, la línea azul representa el mejor ajuste de la curva y las diferentes líneas de colores representan el ajuste con parámetros levemente diferentes.

Diversos problemas surgen de ajustar la emisión del polvo interestelar a la radiación de un cuerpo negro. La técnica comúnmente utilizada es el ajuste de mínimos cuadrados. Sin embargo, diversos autores han mencionado que el uso de esta metodología, dada la degeneración de los parámetros; temperatura e índice espectral, puede producir correlaciones artificiales entre ellos. Una metodología nueva que permite solucionar este problema es el método de ajuste bayesiano jerárquico, el cual permite realizar el ajuste, pero considerando la relación intrínseca entre los parámetros, sus errores y circunscribiéndolos a distribuciones normales propias del caso. Diferentes autores han propuesto que este método provee mejores estimaciones de los parámetros ajustados y eliminaría en gran medida la correlación artificial entre ellos [13].

Resultados

Aplicando el modelo presentado por Ref. [12] podemos determinar la metalicidad en cada región de la galaxia en cuestión, y combinándolo con las observaciones del infrarrojo lejano, ondas milimétricas y radio, podemos estimar la masa del polvo y gas interestelar. Sin embargo, uno de los problemas existentes es la diferencia de escala de cada galaxia. Algunas galaxias son más grandes que otras o se encuentran más cerca de nosotros, por lo que la región definida o pixel de la imagen corresponderá a regiones más grandes o más pequeñas que otras. Para poder comparar cada región de una galaxia específica con otra galaxia es necesario poder normalizar los valores de las masas definiendo así la densidad superficial de masa, que se obtiene dividiendo por el área en kpc^2 de cada región.

En la figura 4 se muestra la densidad superficial de la masa del polvo interestelar (Σ_{dust}), del gas molecular (Σ_{mol}) y del gas

atómico (Σ_{H}) para la galaxia NGC 3521 en función de la metalicidad, de acuerdo con la calibración KK04 (ver Ref. [10]). Los perfiles muestran los valores promedio de la densidad superficial de masa por intervalo de metalicidad. En el gráfico podemos observar la distribución del polvo y el gas interestelar en la galaxia. Una alta metalicidad se relaciona con las regiones centrales de la galaxia, en cambio las regiones de baja metalicidad se ubican principalmente en los bordes externos. De acuerdo con ello, podemos decir que la masa de polvo y gas interestelar aumentan mientras más cerca del centro de la galaxia se esté. Sin embargo, los diferentes componentes del gas no se distribuyen de la misma forma. Podemos observar que en el centro de la galaxia (a la derecha del gráfico) el gas molecular es el dominante, en cambio, en las regiones exteriores (a la izquierda) el gas atómico es el componente principal del gas.

Adicionalmente, la distribución de masa superficial nos permite comparar los diferentes componentes del medio interestelar en galaxias cercanas. A pesar de la

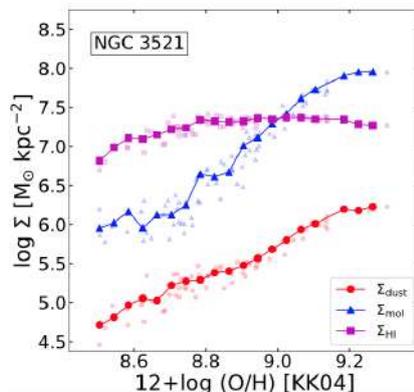


Figura 4

Distribución de la densidad superficial de masa del polvo interestelar (Σ_{dust}), gas molecular (Σ_{mol}) e hidrógeno atómico (Σ_{H}) de la galaxia NGC 3521 en función de la metalicidad.

gran diferencia en términos de masa de la abundancia entre el polvo y gas interestelar, independiente si consideramos su forma molecular o atómica, podemos observar que la distribución del polvo (línea roja) y el gas molecular (línea azul) es bastante similar. Esto nos habla de la gran relación mencionada anteriormente, donde el polvo interestelar provee las condiciones necesarias para que moléculas como el H_2 , principal componente del gas molecular, se puedan formar. La manera en que esta relación cambia de galaxia en galaxia nos permite dilucidar cuáles son los parámetros que tienen un mayor impacto en su distribución. En general, a partir de estudios como este se ha podido concluir que la distribución de polvo y gas interestelar depende de la morfología, edad y evolución de las galaxias.

Conclusiones

El estudio del Universo cercano es fundamental para entender los procesos físicos que tienen lugar en galaxias más alejadas y de las cuales tenemos menor información disponible. Además, dado al avance tecnológico del último tiempo que ha permitido el estudio con mayor precisión de las galaxias cercanas, hoy podemos comparar lo que sucede en nuestro vecindario galáctico con la información que tenemos de nuestra galaxia.

El presente trabajo provee una visión pancromática de las galaxias cercanas. A través del estudio de la radiación producida en diferentes longitudes de onda podemos aprender de mejor manera los componentes del medio interestelar y los procesos que allí ocurren. Nuestro análisis nos permite estudiar la distribución del polvo y gas interestelar en las galaxias, cuál es la relación que existen con la metalicidad y su dependencia con respecto a diversos parámetros como morfología, edad y estado de evolución.

Referencias

- [1] Kennicutt, Jr., R.C., ARA&A, 1998, 36, 189.
- [2] Draine, B.T., ARA&A, 2003, 41, 241.
- [3] Groves, B.A., AJ, 2015, 799,96.
- [4] <http://legacy.spitzer.caltech.edu>
- [5] <https://www.herschel.caltech.edu>
- [6] Kennicutt, Jr., R.C. et al., PASP, 2003, 115, 928.
- [7] Kennicutt, R.C. et al., PASP, 2011, 123, 1347.
- [8] <https://www.iram-institute.org>
- [9] <https://public.nrao.edu/telescopes/vla>
- [10] Leroy, A.K. et al., AJ, 2009, 137, 4670.
- [11] Walter, F. et al., AJ, 2008, 136, 2563.
- [12] Moustakas, J. et al., ApJS, 2010, 190, 233.
- [13] Shetty, R. et al., MNRAS, 2016, 460, 67.