

# MOLÉCULAS ORGÁNICAS EN EL MEDIO INTERESTELAR

*Sergio A. Paron*

El espacio que se encuentra entre las estrellas es denominado medio interestelar, está compuesto por gas y polvo en constante interacción con campos de radiación, campos magnéticos y veloces partículas llamadas comunmente rayos cósmicos. Es un medio muy tenue, su densidad media es de aproximadamente de un átomo por centímetro cúbico, sin embargo en regiones localizadas dicha densidad puede ser unos cuantos órdenes de magnitud más grande. En este extraño medio, llamativamente existen condiciones necesarias para el surgimiento y desarrollo de una compleja química molecular, la que posee una gran variedad de moléculas orgánicas como su principal componente. Las moléculas orgánicas son aquellas que están constituidas necesariamente por carbono (C) junto a otros elementos como por lo general hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N).

Hasta la década de 1930 la existencia de moléculas interestelares era totalmente ignorada, sólo se conocía la presencia de elementos como H (hidrógeno), Ca (calcio), K (potasio), Na (sodio), Fe (hierro), Ti (titanio), pero todos ellos en estado atómico.

En los años que van entre 1937 y 1941 se detectaron las primeras especies moleculares interestelares: CH (grupo básico que constituye a todos los hidrocarburos) y CN (grupo básico denominado Nitrilo), las cuales abrieron las puertas a la posibilidad de una rica química en lugares tan remotos como es el medio que se encuentra entre las estrellas.

Luego en 1963 se detectó la primer especie molecular en longitudes de onda de radio, ella fue el radical OH, constituyente fundamental de los alcoholes entre otras moléculas.

Con el desarrollo tecnológico de la radioastronomía comenzaron a sucederse detecciones de moléculas cada vez más complejas, por ejemplo en 1968 se descubrió amoníaco (NH<sub>3</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O), evidenciando que las condiciones estaban dadas para el desarrollo de una activa y rica química. Ciertamente, los descubrimientos se fueron incrementando hasta hoy en día que se conocen alrededor de 130 moléculas interestelares, la gran mayoría de ellas moléculas orgánicas tales como alcoholes, aldehidos, ácidos, aminas, eteres, etc.

Antes de comenzar con nuestro estudio sobre las moléculas orgánicas interestelares, resulta imprescindible entender los mecanismos básicos de formación molecular que se dan en el medio interestelar.

## Tres mecanismos básicos de la química interestelar

En nuestro planeta, debido a las altas densidades y a la escasa radiación “destructora” encontramos la materia básicamente en estado molecular. Por donde miremos seguramente encontraremos moléculas, ya sea en el aire, en los océanos y hasta en nuestros propios cuerpos.

En el espacio exterior las cosas cambian drásticamente, las densidades son mucho menores ( $10^2$  a  $10^7$  cm<sup>-3</sup><sup>(\*)</sup>) por lo cual la formación de moléculas a través de colisiones de tres cuerpos (para la cual se necesita densidades superiores a  $10^{11}$  cm<sup>-3</sup>) es casi nula y la existencia de poderosos campos de radiación como rayos ultra violeta atenta contra la vida de las mismas, destruyéndolas en algunos casos o impidiendo su formación en otros.

Debido a estas diferencias, es necesario buscar otros mecanismos para explicar la formación de moléculas interestelares. Citaremos tres mecanismos básicos:

---

<sup>(\*)</sup> cantidad de átomos de hidrógeno por centímetro cúbico

**a) Reacciones ion-molécula:**

Como se ha mencionado, en el medio interestelar existen potentes campos de radiación, los cuales aparte de disociar moléculas, también se encargan de ionizar (extraer una carga eléctrica) diversas especies químicas poniendo en marcha cadenas de reacciones.

Una vez que los iones existen, la reacción ion-molécula es una forma efectiva de crear nuevas especies moleculares a partir de otras viejas. Un ejemplo típico es la reacción de los iones del oxígeno con hidrógeno molecular:  $O^+ + H_2 \rightarrow OH^+ + H$  (esto es: un ion de oxígeno  $O^+$  interactúa con hidrógeno molecular  $H_2$  para formar los productos que se ubican del otro lado de la flecha), por supuesto el  $H_2$  debe ser preexistente (la especie vieja en este caso) que debido a la carga del ion que se le acerca, se polariza y se produce tal reacción.

Este proceso es sumamente importante debido a que las colisiones entre iones y moléculas son frecuentes, pues su interacción puede darse a distancias de separación relativamente grandes debido a la atracción de origen eléctrico que entre ellos se establece.

Siguiendo con el ejemplo, una vez formado el  $OH^+$  se pueden producir sucesivas reacciones con el hidrógeno molecular dando origen a  $H_3O^+$  que luego al interactuar con un electrón y con radiación puede formarse  $OH$  o  $H_2O$ .

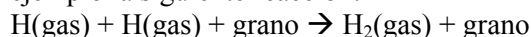
Las interacciones con los electrones son frecuentes debido a que las regiones del medio interestelar en donde se produce esta química son básicamente neutras, es decir, por cada especie existente con carga positiva, existirá un electrón (partícula con carga negativa).

Cabe destacar que la cantidad de materia ionizada es un factor importante en el retardo del colapso en una región de formación estelar, pues si existe un campo magnético, al interactuar con los iones se puede generar una inhibición del colapso del gas molecular retardando notoriamente el comienzo de la formación de una estrella.

**b) Reacciones en la superficie de granos de polvo interestelar:**

En muchas regiones del medio interestelar existen partículas sólidas constituidas básicamente por grafito y silicatos denominadas polvo interestelar.

Sin la existencia de dichos granos de polvo no podría darse la abundancia de  $H_2$  que se observa, pues una de sus funciones principales es la de actuar como catalizadores en la química del hidrógeno, permitiendo por ejemplo la siguiente reacción:



Otro efecto importante es que frecuentemente moléculas y átomos se congelan en sus superficies muy frías (10 K<sup>(\*)</sup>), formando capas heladas químicamente ricas.

Los detalles de los procesos de formación molecular vía este mecanismo dependen de la temperatura, composición y propiedades físicas de las superficies, así como también de las condiciones de radiación que rodean al grano.

En ambientes cálidos donde las capas heladas no se forman, es necesario tener en cuenta la composición básica intrínseca de dichos granos. Los granos, como ya hemos mencionado, están compuestos mayormente por silicatos, grafito y capas de moléculas orgánicas. También pueden existir granos con óxidos metálicos, de los cuales se conoce que son buenos catalizadores.

**c) Reacciones de química neutra:**

A diferencia de las reacciones ion-molécula que pueden darse a distancias relativamente grandes, la química neutra necesita de distancias muy pequeñas y de grandes cantidades de energía para que pueda producirse. Las reacciones son del tipo  $AB + C \rightarrow A + BC$ , es decir una molécula neutra reacciona con un átomo neutro para dar como resultado otro átomo y otra molécula, ambos también neutros.

Algunas de estas reacciones suelen tener barreras energéticas para que ocurran, por ejemplo, mientras la reacción  $O + OH \rightarrow O_2 + H$  procede rápidamente aún a temperaturas muy bajas (es

---

(\*) K = grados Kelvin. 273 K equivalen a 0° C

decir, posee una pequeña barrera), la reacción  $N + NO \rightarrow N_2 + O$  es muy lenta a temperaturas aproximadas a 10 K, pero rápida a temperaturas de alrededor de 300 K.

La importancia de las reacciones de química neutra es ínfima comparada con las reacciones ion-molécula en ambientes típicamente interestelares, pero dicho mecanismo adquiere gran importancia en ambientes de altas densidades como capas externas de estrellas y atmósferas planetarias, entre otros.

### **Moléculas Orgánicas en el Medio Interestelar**

El estudio de la formación de moléculas orgánicas en el medio interestelar es una materia muy compleja, aún hoy en día existen grandes incertezas sobre los procesos involucrados en las cadenas de reacciones químicas que culminan en la formación de moléculas orgánicas relativamente simples. El desarrollo de nuevos y sofisticados observatorios es sumamente necesario para arrojar luz sobre estas incertezas y comprender fehacientemente los complejos procesos de formación.

En el medio interestelar las moléculas orgánicas son observadas básicamente en nubes oscuras y en nubes difusas, es decir, en grandes conglomerados de gas y polvo que presentan respectivamente menor y mayor interacción con la radiación. Estas entidades por supuesto no poseen condiciones homogéneas, sino que pueden contener grumos, núcleos más densos, regiones de formación estelar, lugares más fríos, más calientes, etc que determinarán la química dominante de la región.

#### *Moléculas orgánicas en nubes oscuras y densas*

Las nubes densas, los sitios de formación estelar, son ricas en polvo interestelar que oscurece y enfría grandes regiones dentro de ellas.

Este oscurecimiento del ambiente contribuye fuertemente a proteger a las especies moleculares de los potentes campos de radiación que atentarían contra sus vidas; no obstante, los rayos cósmicos pueden penetrar los ambientes más densos, ionizando distintas especies y comenzando de esta forma largas cadenas de reacciones químicas.



Fig. 1: Entre la Cruz del Sur y la región de Carina sobre el borde sur de Centauro hay una gran nebulosa de emisión (IC2948) con la presencia de estrellas brillantes. Sobre este brillante fondo se puede apreciar un grupo de nubes oscuras conocidas como Glóbulos de Bok, en honor al astrónomo alemán, quien fue el primero en proponer a estos sitios como los lugares de nacimiento de futuras generaciones de estrellas.

Dado que los granos de polvo pueden actuar como catalizadores, la química a través de ellos es de gran importancia. Ciertamente una química sumamente activa se da sobre sus superficies, tal es así que en las regiones más frías con escasos 10 K de temperatura, átomos de H, D (deuterio), C, O y N al interactuar con estas superficies pueden formar capas de moléculas relativamente simples, tales como H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> y CH<sub>4</sub> (metano). Los granos de polvo con estas capas de hielos simples pueden ser transportados a regiones más cálidas y densas, muchas veces influidas por la acción de protoestrellas (estrellas en nacimiento), lo cual alterará drásticamente la composición de sus superficies generando en muchos casos moléculas más complejas.

Los hielos superficiales de los granos pueden ser divididos en dos categorías:

**-Hielos polares:** son hielos dominados por H<sub>2</sub>O siendo más resistentes a las altas temperaturas (resisten hasta 90 K) y los cuales en ambientes protoestelares parecen producir especies orgánicas como H<sub>2</sub>CO (formaldehído), HCOOH (ácido fórmico), CH<sub>4</sub> (metano), C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (etano), C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH (etanol).

**-Hielos apolares:** son hielos dominados por CO (monóxido de carbono), O<sub>2</sub> (oxígeno molecular) y N<sub>2</sub> (nitrógeno molecular) quienes presentan alta volatilidad, razón por la cual solo sobreviven en ambientes muy fríos y densos.

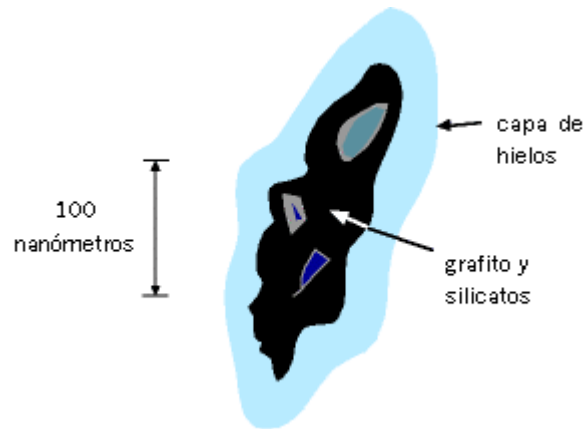


Fig. 2: Esquema de un grano de polvo interestelar típico. En sus capas de hielos se da una química muy activa que puede llegar a producir moléculas orgánicas muy complejas. (1 nanómetro equivale a 10<sup>-9</sup> m)

En las nubes más frías y oscuras se llegaron a observar enormes cadenas carbonadas (moléculas con átomos de carbono que llegan a formar verdaderas cadenas) como HC<sub>2n+1</sub>N con n = 1 - 5, y radicales como H<sub>2</sub>C<sub>n</sub> con n = 3, 4, 6 y HC<sub>n</sub> con n = 1 - 8. Si bien en un principio su presencia fue explicada a través de reacciones de ionización disparadas por los penetrantes rayos cósmicos, actualmente parece ser que modelos en donde se incluyen reacciones propias de la química neutra tienen mejores resultados, de lo cual surge la necesidad de observar con mayor detalle estas regiones para probar dichos modelos.

Como es de esperar, la formación de estrellas tiene efectos profundos en la química del medio circundante. De esta forma la química que se da en los núcleos moleculares calientes donde se producen los procesos de nacimientos de estrellas merece un estudio aparte. Se pueden definir a grandes rasgos tres procesos bien marcados para la aparición de moléculas en estos ambientes:

- 1) durante el colapso del gas domina la química gaseosa combinada con la depositación de diversas especies químicas sobre los granos de polvo, dicho proceso puede generar la existencia de CO, HCN (ácido cianhídrico) y acetilenos.
- 2) luego se producen reacciones en las superficies del polvo, que pueden producir componentes tales como H<sub>2</sub>O y NH<sub>3</sub>.

Estos dos procesos que ocurren en el material preexistente aún frío pueden generar la formación de moléculas con presencia de átomos de deuterio como HDO, NH<sub>2</sub>D, DCN, CH<sub>2</sub>DOH, etc, explicando así la alta tasa de deuterio observada en estas regiones.

- 3) por último, cuando la temperatura comienza a aumentar las capas moleculares de los granos se evaporan, introduciendo una mayor complejidad a la química de la fase gaseosa.

Cabe destacar que cuando moléculas como metanol, etanol y tal vez alcoholes superiores formadas en las superficies de los granos interactúan con átomos de hidrógeno (elemento muy abundante del medio interestelar), ofrecen una ruta bien determinada hacia una química más compleja. De hecho estos alcoholes al ser evaporados brindan la posibilidad de producir diversas clases de éteres.

También las capas heladas de los granos de polvo ricas en amoníaco, metanol y etanol pueden dar origen a moléculas orgánicas con presencia de átomos de nitrógeno, como CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CN, CH<sub>2</sub>CHCN, CH<sub>3</sub>CN, CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>, que son observadas en regiones de formación estelar.

Finalmente, resulta sumamente interesante la posibilidad de la existencia de aminoácidos y otras moléculas prebióticas en nebulosas protoestelares similares a la que diera origen a nuestro sistema solar. Lo cual abre diversas conjeturas sobre la posibilidad de una vida extraterrestre químicamente similar a la nuestra.

#### Moléculas orgánicas en nubes difusas

Las nubes difusas se caracterizan por poseer densidades de 100 a 300 cm<sup>-3</sup>, temperaturas de aproximadamente 100 K y una fuerte interacción con campos de radiación como rayos ultravioleta, razón por la cual este medio se encuentra controlado por procesos fotoquímicos (química basada en la interacción con la radiación electromagnética).

En un principio se pensaba que en las nubes difusas solo podrían existir moléculas diatómicas debido a su mayor resistencia a la fotodisociación. No obstante, a parte de estas simples especies constituidas por dos átomos, se observan también moléculas orgánicas complejas como los llamados hidrocarburos aromáticos policíclicos. Ciertamente las moléculas orgánicas en el medio difuso pueden ser formadas a través de los siguientes caminos:

- 1) Reacciones ion-molécula y reacciones neutras en la fase gaseosa. Estas reacciones pueden llegar a formar moléculas de hasta 64 átomos de carbono, pasando por enormes cadenas carbonadas, estructuras anulares carbonadas y fulerenos.
- 2) Reacciones en ambientes circundantes a estrellas y un posterior mezclado en el medio difuso en donde las especies deben ser resistentes a la radiación.
- 3) Reacciones en el polvo rico en carbono a través de la interacción de la radiación y de colisiones entre los mismos granos de polvo.

El carbono es el elemento fundamental para la química que se da en estas regiones. En las dilatadas atmósferas de estrellas viejas se forman los granos de polvo constituidos básicamente por C, O y Si (silicio) según la riqueza de elementos que posea la estrella, los cuales son inyectados al medio difuso via frentes de choque provistos por supernovas (explosión de estrellas) o por los propios vientos estelares.

Existen evidencias no sólo de la existencia de fulerenos e hidrocarburos aromáticos policíclicos en el medio difuso, sino posiblemente también de diamantes junto a las más variadas estructuras carbonadas.

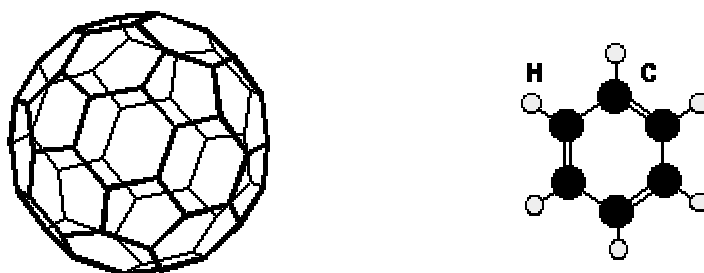


Fig. 3: esquema de la estructura de un fullereno (izquierda), esta molécula está compuesta exclusivamente por átomos de carbono ubicados en los vértices de cada hexágono y pentágono (similar a una pelota de fútbol). Hacia la derecha se observa el esquema del hidrocarburo aromático más sencillo: el benceno, el cual se compone por átomos de carbono en cada vértice del hexágono unidos cada uno a un átomo de hidrógeno. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos están compuestos por varios anillos bencénicos formando especies de colmenas.

### **Importancia y perspectivas del estudio del medio interestelar**

El interés en el estudio de moléculas interestelares se va incrementando día a día junto a los avances tecnológicos en radioastronomía, así como a la detección de nuevas especies moleculares. Es importante precisar que la existencia de una dada molécula permite inferir las condiciones físicas del medio en donde ésta se encuentra, lo cual aporta sustanciosos avances al entendimiento del nacimiento y la muerte de las estrellas así como de la dinámica de las galaxias.

También el descubrimiento de azúcares, alcoholes y hasta posibles aminoácidos en el medio interestelar, alimenta la posibilidad de existencia de vida en rincones insospechados del universo, ya que nos muestra que la formación de moléculas necesarias para la vida tal cual la conocemos resulta bastante común. De esta manera no resulta descabellado pensar que en más de una condensación de materia que se da en una nube molecular para la formación de una nueva estrella con sus planetas girando en torno a ella, se encuentren las semillas de la vida, o más aún, en las propias nubes moleculares bien protegidas de la radiación y repletas de moléculas orgánicas se generen exóticos mecanismos para la evolución de alguna especie de vida.

El estudio molecular del medio interestelar se efectúa sobretodo en el rango de las longitudes de ondas milimétricas, para ello, se vienen construyendo gigantescos y multimillonarios arreglos de radiotelescopios. Entre ellos, el más destacado es el proyecto ALMA (Atacama Large Millimetre Array), formado por 64 antenas que se construirán en el desierto de Atacama en Chile.

El ALMA estará completo alrededor del año 2010, y será el arreglo de antenas para operar en el milimétrico más importante del mundo.

Con el proyecto ALMA se pretende encontrar las principales respuestas a los orígenes de las galaxias y las estrellas: la época de la primer formación de galaxias y su evolución siguiente, incluyendo las regiones de formación estelar oscurecidas por el polvo interestelar, a las que no se puede acceder con telescopios trabajando en otros rangos del espectro. La futura puesta en marcha de este instrumento significará un avance sin precedentes en las ramas de la astrofísica y la astroquímica.

### ¿moléculas orgánicas = vida?

La existencia de moléculas orgánicas **no implica** existencia de vida, sino que la existencia de vida *tal cual la conocemos* implica presencia de moléculas orgánicas. La denominación "*orgánica*" se debe a que antiguamente los químicos creían que para sintetizar este tipo de moléculas era necesario la intervención de lo que ellos denominaban 'fuerza vital' propia de los organismos vivos. Este pensamiento fue desterrado cuando el químico alemán Friedrich Wöhler logró en 1828 a través de la sustancia inorgánica cianato de amonio producir urea, sustancia orgánica que se encuentra en la orina de muchos animales.

Cuadro en el que se detallan algunas moléculas conocidas en nuestro planeta, consignando el lugar del medio interestelar donde se la ha detectado:

<b>Molécula</b>	<b>En nuestro planeta</b>	<b>En el medio interestelar</b>
Agua (H <sub>2</sub> O)*	mares, atmósfera, seres vivos, etc.	hielo en las superficies del polvo interestelar
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )*	limpiadores de pisos	hielo en las superficies del polvo interestelar; nubes densas (en fase gaseosa)
Monóxido de Carbono (CO)*	producto residual al quemar gas natural en cocinas, estufas, termotanques, etc.	nubes moleculares en general
Metano (CH <sub>4</sub> )	principal componente del gas natural	hielos polares en ambientes protoestelares
Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	barnices y lacas	medio difuso
Alcohol etílico o etanol (CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH)	bebidas alcohólicas, desinfectantes	capas congeladas del polvo interestelar
Formaldehído (CH <sub>2</sub> O)	adhesivos, plásticos, curtientes, colorantes, conservantes, solventes, medicamentos, resinas y fungicidas	regiones de formación estelar
Ácido cianhídrico (HCN)	fumigaciones	nubes oscuras
Ácido fórmico (HCOOH)	parte de la constitución química de las hormigas	hielos polares en ambientes protoestelares

\* No son moléculas orgánicas pero constituyen un buen ejemplo de moléculas muy comunes en nuestro planeta así como en el medio interestelar.

## **Bibliografía**

- Hartquist, T.W. and Williams, D.A.: The Chemically Controlled Cosmos, Cambridge University Press, Cambridge 1995.
- Van Dishoek E.F. (ed.): Molecules in Astrophysics: Probes and Processes, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1997.
- Veschuur, G.L. and Kellerman, K.I. (ed.): Galactic and Extragalactic Radio Astronomy, Springer-Verlag, New York 1988.
- Ehrenfreund R. & Charnley S.: Organic Molecules in the Interstellar Medium, Comets and Meteorites: A voyage from dark clouds to the early Earth. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, vol. 38, 2000.
  
- Para profundizar en la notación molecular consultar cualquier libro de Química Orgánica General o Química General que contenga la parte orgánica.

## **Páginas de interés en internet**

- [www.astronomynotes.com](http://www.astronomynotes.com) (página general y muy completa sobre temas de astrofísica a nivel divulgativo, en inglés)
- [www.surastronomico.com](http://www.surastronomico.com) (página general de astronomía para el hemisferio sur, en español)
- [www.alma.nrao.edu](http://www.alma.nrao.edu) (página del proyecto ALMA)
- [www.astrochemistry.org](http://www.astrochemistry.org) (página del Laboratorio de Astroquímica dependiente de la NASA)
- [www.iafe.uba.ar](http://www.iafe.uba.ar) (página del Instituto de Astronomía y Física del Espacio dependiente del CONICET y de la Universidad de Buenos Aires)