

# **Asociación Española de Espectroscopia Astronómica**

Tenerife 2015

**Estudio espectral del cometa Lovejoy C 2014 Q2**

A. L. Calvente Ortiz

[alfonso@espectrografia.es](mailto:alfonso@espectrografia.es)

## Estudio espectral del cometa Lovejoy C 2014 Q2

A. L. Calvente Ortiz

[alfonso@espectrografia.es](mailto:alfonso@espectrografia.es)

RESUMEN: Utilizando el espectrógrafo dados con las rejillas de 200 l/mm y 900 l/mm en el observatorio personal de Tejina (C11), hemos obtenido el espectro visual del cometa Lovejoy en su punto de aproximación más cercano a la Tierra. El análisis espectral nos permite cubrir un rango entre los 3800 y los 7500 Å. Hemos comparado nuestros resultados con los trabajos realizados sobre otros cometas, lo que nos ha permitido una identificación adecuada de los elementos y moléculas encontrados y también nos ha abierto la posibilidad de analizar comparativamente la estructura y composición del C 2014 Q2.

## 1. Introducción

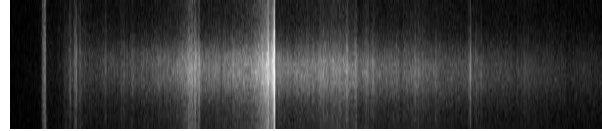
La espectroscopia astronómica nos permite el estudio químico y estructural de los cometas. Los cometas son en sí trozos de hielo y polvo residuos de el originario disco de polvo y gas del que se formo nuestro sistema planetario. El estudio de los mismos es de sumo interés, no solo desde la perspectiva de un conocimiento más profundo de los procesos de formación planetario, sino en el estudio e identificación de aquellos complejos moleculares que sostienen las estructuras biológicas de los seres vivos y que un día aterrizaron en nuestro planeta posiblemente a través de impactos cometarios.

El análisis espectroscópico nos aporta información de la coma que rodea y sigue al núcleo del cometa. Al acercarse al sol, las moléculas del núcleo se subliman (pasan directamente del estado sólido al gaseoso) por los efectos de la radiación, este proceso produce espectralmente un sinnúmero de líneas de emisión que corresponden a las distintas moléculas y elementos químicos que participan en el proceso y que provienen en su totalidad del núcleo cometario.

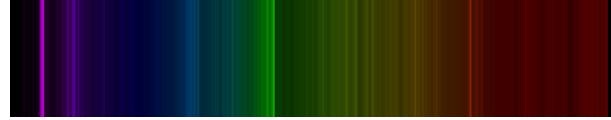
En el espectro visible, que es el rango de longitud de onda en el que trabajamos, además de los efectos de emisión atómica y molecular que analizamos, podemos observar el espectro de la luz solar que se refleja en el cometa. Esto permite estudiar la envoltura de polvo y gas que envuelve y acompaña al cometa y que presentará distintas líneas de absorción sobre el espectro solar.

## 2. El espectro de 200 l/mm del C 2014 Q2.

El espectro obtenido desde el observatorio personal situado en Tejina (Tenerife) fue compuesto por una sola toma de 300seg realizada sobre un tubo C11 con una Atik 314L+ (binx2) a través de un espectrógrafo DADOS 200l/mm (15/1/14, 23:40).



Espectro 200 l/mm C 2014 Q2



Espectro sintetizado en color 200l/mm C2014 Q2

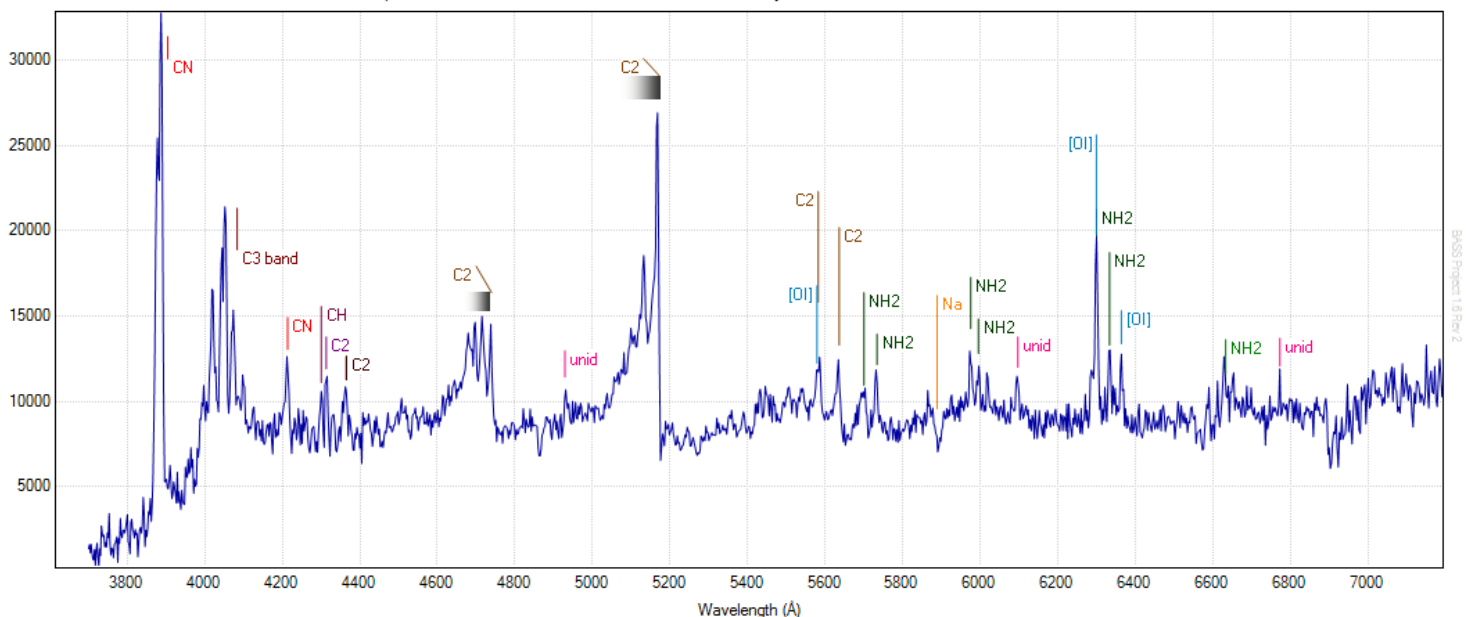
El espectro de 200 l/mm nos muestra un rango comprendido entre los 3785 y los 7160 Å.

El espectro en bruto nos muestra un continuo intenso que corresponde a la zona del núcleo del cometa pero que pierde intensidad hacia el ultravioleta y el infrarojo. Las fuertes líneas de emisión corresponden al CN (Cianuro) en el violeta y C<sub>2</sub> (Carbono diatómico) en el verde, algo más atenuada aparece la emisión del NH<sub>2</sub> (Dihidruro de Nitrógeno – grupo amina) en el rojo. Comprobamos como la intensidad de las líneas de emisión se van disipando en mayor o menor medida según nos alejamos del núcleo (en este caso ese alejamiento corresponde a la parte superior e inferior de la imagen en bruto en la que el continuo ya desaparece), esta emisión se podrá observar también aun bastante lejos del núcleo, ya en la parte de la cola del cometa.

La distribución de las líneas principales es típica de los espectros obtenidos en otros cometas. La abundancia de los elementos identificados es característica de diversos cometas con los que hemos comparado visualmente el espectro obtenido. No tanto la falta de resolución como la limitación en el rango de longitud de onda estudiado, nos impiden una identificación de las diferentes moléculas que pueden ser encontradas en el polvo que forma parte de la coma cometaria.

COMETA LOVEJOY - DADOS 200l/mm ; C11 ; Atik 314L + ; Tejina (Tenerife)

Spectro normalizado con fondo - Id. Ref. Biver 2010, Chaubey 1977, Brown et al. 1996, Feldman et al. 2004



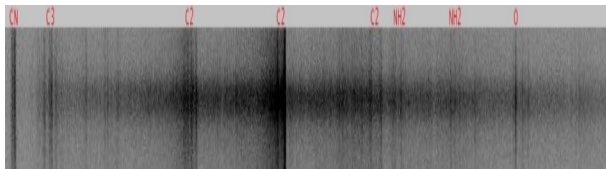
Debemos conformarnos con el análisis limitado de los radicales identificados en el espectro visual.

Aún con estas limitaciones, podemos intuir la abundancia de elementos como el HCN, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> y NH<sub>3</sub>, toda hora que estos mismos en el proceso de sublimación producen por foto-disociación a aquellos. Estos elementos mencionados producen los radicales identificados según la siguiente relación:

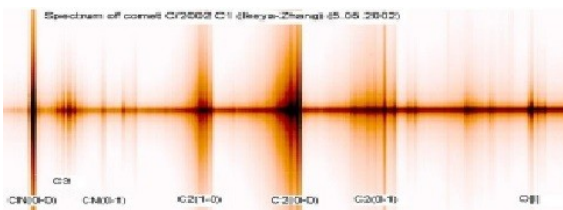
HCN	→	CN
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	→	C <sub>2</sub>
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	→	C <sub>2</sub>
NH <sub>3</sub>	→	NH <sub>2</sub>

Para poder detectar directamente las moléculas originales (e incluso algunos de los radicales señalados) deberíamos trabajar con ondas de radio o con espectrografía de infrarrojo y ultravioleta, las cuales abarcan longitudes de onda en las que la detección de sus líneas de emisión molecular es posible.

Aun así es muy interesante el análisis que con nuestros medios podemos realizar. Una comparativa de nuestro espectro con el espectro de otros cometas nos muestra que tanto la composición como los procesos que se desencadenan en sus acercamientos al sol son similares:



Espectro de 200 l/mm C 2014 Q2. AESAS,2015

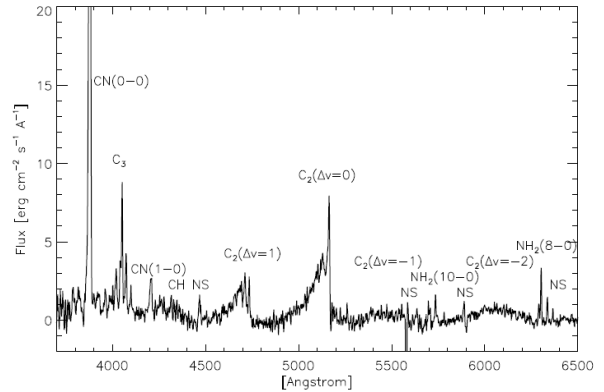


C/2002 C1 (Ikeya-Zhang)

Podemos observar como las líneas de emisión del cometa C/2002 C1 (Ikeya-Zhang) coinciden de forma extraordinaria con las observadas en nuestro espectro del Cometa C/2014 Q2 (Lovejoy).

El análisis espectrográfico nos va a permitir la identificación de cada una de las líneas aportándonos información inequívoca sobre la composición estructural del núcleo y de la nube de polvo y gas que lo rodea.

La grafica mostrada a continuación nos presenta el espectro del Cometa C/1995 O1 (Hale-Bopp) obtenido con el telescopio de 1,5 m. de la ESO en 1997. Además de poder comprobar la idéntica distribución espectral, nos sorprende el detalle conseguido con nuestro pequeño C11 y nuestro humildes medios frente al espectro mostrado en la gráfica.



Cometa C/1995 O1 (Hale-Bopp) Tel. 1,5 m. ESO 1997

La idéntica distribución de líneas identificadas (más y en mayor detalle en nuestro gráfico mostrado más abajo) y coincidentes también con el espectro del Ikeya Zhang corroboran el origen común de estos objetos estelares que a modo de cometas se nos presentan tan cerca de nuestro planeta. La gran nube de Orts que envuelve nuestro sistema planetario es sin duda alguna un remanente de aquel material primigenio del que se fue formando nuestro Sistema Solar.

La influencia de fuerzas gravitacionales y de marea, la cercanía o incluso el impacto de otros objetos ya en movimiento pueden catapultar nuevos trozos de “hielo cósmico” hacia el centro de nuestro sistema planetario dando lugar a nuevos cometas observables. Todos ellos guardan las mismas características generales, pero un estudio más profundo de los mismos aporta y continuará aportando información importantísima sobre los procesos de formación planetaria e incluso de la estructura molecular que cimienta la propia vida.

En nuestro espectro a 200l/mm hemos logrado identificar un total de siete elementos y sustancias:

**O I:** Nada tiene que ver este oxígeno identificado con el O2 atmosférico que presenta fuertes líneas de absorción en las longitudes de onda  $\lambda = 6276-6287$  ;  $6867-6884$  ;  $7594-7621$  Å.

Las líneas de emisión identificadas se encuentran dentro de aquellas llamadas transiciones prohibidas (solo se observan en ciertos procesos de transformación o descomposición molecular). En nuestro caso las líneas del O I identificadas son:

$$\lambda = 6300.304 \text{ \AA} \rightarrow {}^1D\text{-}^3P ; \text{ en el rojo}$$

$$\lambda = 6363.776 \text{ \AA} \rightarrow {}^1D\text{-}^3P ; \text{ en el rojo}$$

$$\lambda = 5577.339 \text{ \AA} \rightarrow {}^1S\text{-}^1D ; \text{ en el verde}$$

El oxígeno responsable de las emisiones ha sido formado por distintos procesos de descomposición de las moléculas que componen el núcleo del cometa y se van desprendiendo de él. Las moléculas originales son principalmente de H2O y también de CO y CO2. Otras moléculas que pueden sufrir procesos similares, como las de HCOOH y H2CO, no parecen ser las responsables del O I resultante, habidas cuentas de que estas últimas no sufren la degradación lo suficientemente rápida para producir la transición observada en el O(1D).

**Na:** En nuestro espectro de 200 l/mm la línea de absorción de sodio observada es responsabilidad del reflejo de la luz solar sobre la superficie de Lovejoy. Es decir la absorción contemplada responde al Na solar que sitúa el fuerte doblete de absorción en las líneas  $\lambda = 5889.95$  y  $\lambda = 5895.92$ , las cuales la resolución de nuestro espectrógrafo muestra como una fuerte y ancha sola línea de absorción. Quizás a mayor resolución podamos identificar la emisión que ha sido observada en otros cometas.

**C2:** Encontramos dos bandas principales de emisión de C2:  $4737\text{\AA}(-20\text{nm})$  y  $5165\text{\AA}(-30\text{nm})$ . Estas bandas de emisión pueden ser encontradas muy lejos del núcleo, en la cola lejana del cometa, lo que implica una gran producción de este elemento.

El C2 es producto directo, principalmente, del C2H, el cual a su vez proviene de la descomposición del C2H2.

**C3:** La inestabilidad de esta molécula dificulta su estudio por la falta de observaciones experimentales de laboratorio.

Encontramos un notable grupo entre 3900 y 4140 Å, y aunque la densidad de las líneas de C3 hacen muy difícil su individualización, podemos encontrar líneas atribuibles a él hasta los 4700 Å.

EL proceso que da lugar al C3 es hasta el momento desconocido. Químicamente es posible que su origen se deba a la descomposición del C3H4 y del C3H8, pero estas moléculas no han sido detectadas en los espectros cometarios.

**CN:** En nuestro espectro visual encontramos dos bandas de emisión de CN, una de gran intensidad aunque corta en 3883 Å(-4nm), y otra corta y poco intensa en 4215 Å(-4nm).

El elemento que potencialmente da origen al CN es el HCN que sí ha sido observado en el infrarrojo, aunque no se puede saber con certeza si es el principal productor o uno secundario.

Festou et al (1998) concluyeron que parece consistente pensar que el principal productor de CN es el C2N2.

**CH:** El CH tiene su pico de emisión a los 4314 Å. Su estabilidad a 1UA es muy corta y puede variar de 35 a 315 seg. hasta que se descompone por foto-disociación.

Probablemente su origen esta en el CH4. El metano primero decaerá en CH2 y luego este en CH.

Existe una línea de emisión en 3886 Å pero no es posible aislarla del CN a baja resolución.

**NH2:** El NH2 procede de la descomposición del NH3(detectado recientemente en onda de radio). El NH2 decaerá en NH, el cual es detectable en el ultraviolet.

Nicolas Biver (Cometary Spectroscopy) presenta las líneas principales del NH2 en: 515, 545, 600, 630, 665, 695 y 735 nm. Las más intensas han sido identificadas en nuestro espectro.

### 3. La línea 4133 de Bobronikoff.

En 1925, desde el Real Observatorio Italiano de Catania, N.T. Brovonikoff realiza siete tomas con la cámara ultravioleta. Está apuntando al cometa Temple-2, el cual alcanza una magnitud visual de 9. Fueron siete tomas con tiempos de exposición 30 hasta 230 minutos. Brovonikoff identificará el "Cyanogen" a 3883 Å, Monóxido de Carbono (CO) a 4355, 4722 y 4919, y dos líneas por él no identificadas 4133 Å y 4591 Å.

La línea 4591 Å ha sido posteriormente identificada entre los componentes cometarios como C2, que emite en esta longitud de onda ( $4590.95 \text{ \AA}$ ) en la transición (2,1) R1(61)+R2(60).

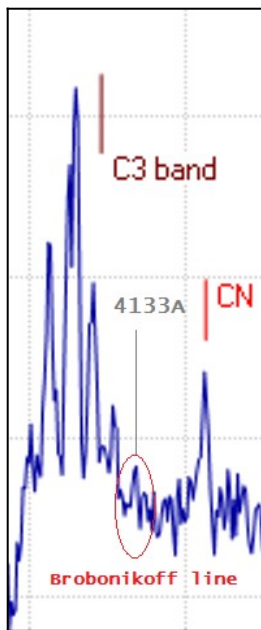
Sin embargo la línea 4133 Å no aparece en el "Catalogo a Alta Resolución de Líneas de Emisión Cometarias" publicado por el "Astronomical Journal" (112,

1197-1202, 1996), que fue realizado por M.E. Brown, A.H. Bouchez, H. Spinrad, and C.M. Johns-Krull. Las líneas más cercanas publicadas no pueden dar lugar a confusión ya que se encuentran en 4100.30 Å (C3) y 4182.21 Å (CN).

Esta línea no se observa en el espectro del Halley-Bopp aunque sí parece tener forma en el espectro del Ikeya-Zhang.

Sea como fuere, entre toda la literatura y trabajos consultados no hemos encontrado referencia a esta línea ni a ninguna otra cercana con la que pudiera ser confundida.

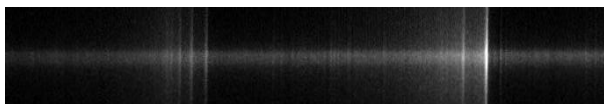
Nuestro interés radica en que si aparece en el Lovejoy. No es una línea de gran intensidad pero si es observable en el espectro:



En el detalle de nuestro espectro observamos que la línea Brobonikoff se halla seguida de una relativa línea de absorción, fruto posiblemente de la luz solar que se refleja en el cometa, y en su caso correspondería a un conjunto de líneas de absorción donde predomina el Fe I entre 4132 y 4135 Å.

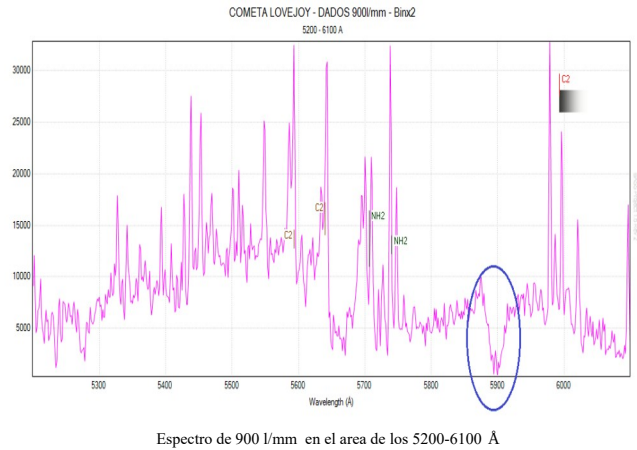
**4. Espectro de 900 l/mm.**

El espectro obtenido con el espectrógrafo DADOS con la “grating de 900 l/mm”, el tubo C11 y la ccd Atik 314L+, no nos ha permitido una gran diferencia en la resolución final, habida cuenta que empleamos la “ccd” con la opción binx2 limitando la R máxima alcanzable con esta rejilla.



Espectro a 900 l/mm en el area de 5900-6800 Å. La fuerte línea de emisión de la derecha corresponde al O I.

Quizás el dato más revelador, además del desdoblamiento de multiples líneas y de la identificación de nuevas series de C2 sea la posible emisión que parece observarse en el centro de la línea de absorción del Na.



Espectro de 900 l/mm en el area de los 5200-6100 Å

**5. Elementos a identificar.**

Como referencias para futuros estudios, y para constatar la importancia que el estudio de los cometas tiene para comprender, no solo la formación de nuestro sistema solar, sino para descifrar los procesos de formación molecular que culminaron desarrollando todas las estructuras moleculares de las que se vale la vida para su sostenimiento.

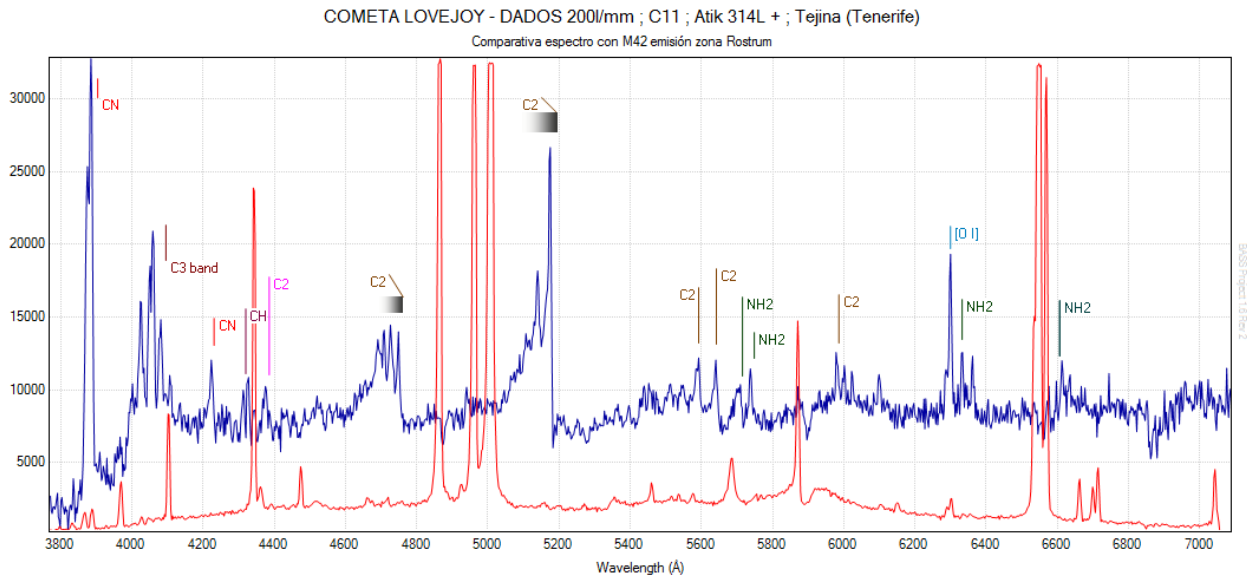
Huebner et al (Heat and Gas Difusion in Comet Nuclei, 2006), indica en una comparativa con los elementos y moléculas identificados en el medio interestelar un listado de los que han llegado a ser identificados en distintos cometas y sus estructuras:

CH	NH
OH	C2
CN	CO
N2	CS
NS	NO
N2	CH2
H2S	C3
CO2	OCS
SO2	CS2
NH3	HC2H
H2CO	HNCO
H2CS	C2H6
CH3OCHO	OH(CH)2OH
NH2	H2O
C2H	HCN
HN	HCO
CH4	HCOOH

C4H  
CH3OH  
CHCHO

HC3N  
CH3CH  
NH2CHO

**Espectrografía comparativo con Nebulosa de Orión:**



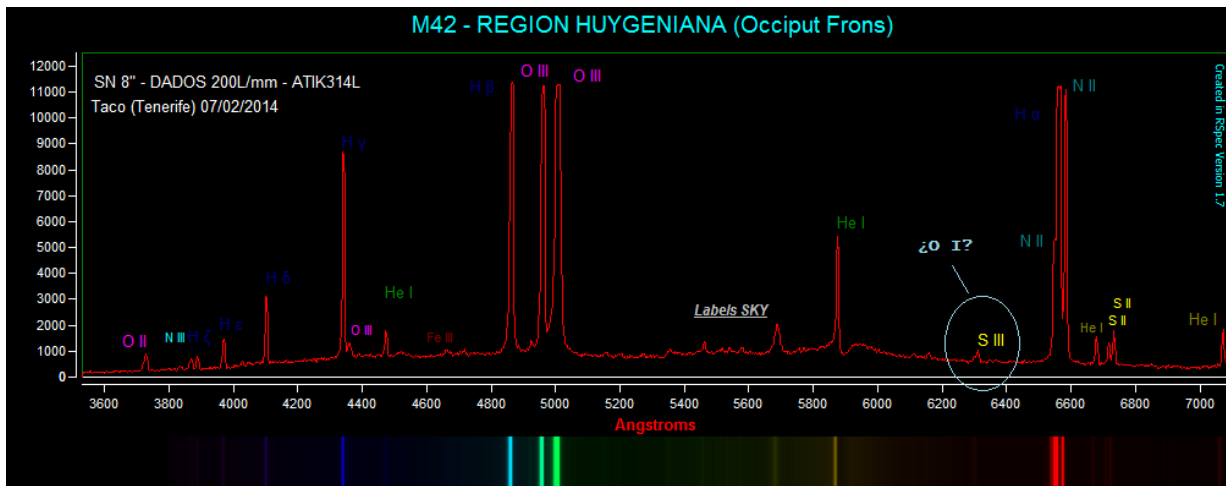
Gráfica comparativa Cometa Lovejoy (2015 – Azul) con Nebulosa M42 (2014 – Rojo)

En la gráfica podemos observar en rojo el espectro de la Nebulosa de Orión a la misma resolución que el espectro del cometa Lovejoy (en azul). Queda patente que espectros tan sumamente distintos corresponden a compuestos también totalmente diferentes. La nube de hidrógeno en las que se forman las estrellas en M42 tiene una composición totalmente diferente a los compuestos moleculares que podemos identificar en un cometa.

El espectro de M42 y el espectro de un cometa muestran dos estadios diferentes del proceso de formación estelar. En M42 se nos muestra el espectro de una región H II de la nube afectada por la radiación de las estrellas jóvenes cercanas que

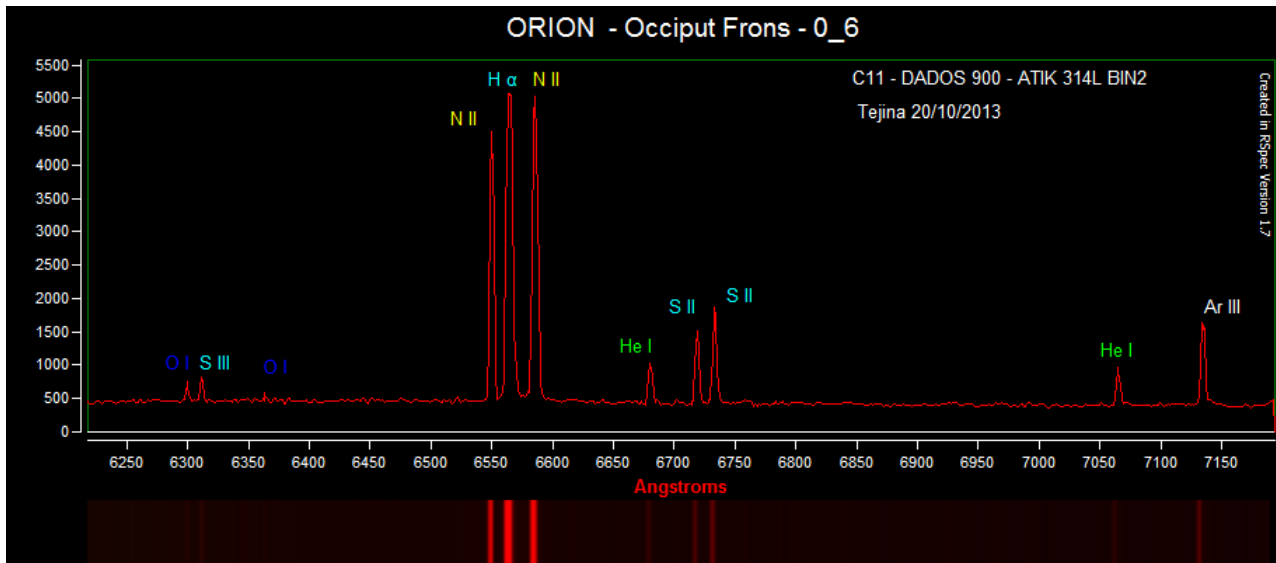
provocan la ionización de los distintos elementos nebulares, lo cual nos permite su identificación por la emisión espectral en el visual. El gas que observamos, pues, es el mismo compuesto (región H I) que ha participado en la formación (por acreción) de las estrellas jóvenes circundantes, solo que ahora este gas a sido radiado e ionizado aumentando notablemente su temperatura lo que impide, en ese lugar nuevos procesos de colapso nebular y acreción.

Por otro lado el espectro del cometa nos muestra los compuestos sobrantes del final del proceso de formación estelar, es decir nos encontramos en el antes y después de un proceso de formación de estrellas que transcurre a lo largo de un periodo que varía en función del tamaño de la estrella en una escala que varía de 10 a 10<sup>3</sup> millones de años.



Espectrografías de M42 obtenidas a 200 y 900 l/mm en 2014 por Calvente, Zumaquero y Sosa.

Pese a no encontrar, en general, correlación alguna entre las líneas observadas en el espectro de Lovejoy y M42 (alguna línea en apariencia coincidente se diferencia a mayor resolución, como la emisión de He I en M42 a 5876 Å que es diferente a la encontrada en Lovejoy a 5874.56 Å correspondiente a la emisión del C2), encontramos la emisión de S III en M42 con un contorno muy similar a la identificada como O I en Lovejoy.



Espectro de M42 obtenidas a 900 l/mm en 2014 por Calvente, Zumaquero y Sosa

Sin embargo estudiando el espectro a mayor resolución de M42 encontramos que efectivamente el desdoble de la línea de S III identifica también una emisión de O I, siendo que también en el espectro del cometa encontraremos un desdoble con el NH<sub>2</sub> con la peculiaridad que en este caso la emisión de O I es mucho más intensa.

Es relevante esta información que nos indica que los procesos que dan lugar a la emisión de O I (línea prohibida) por disociación de moléculas más complejas se dan tanto en la región de H II como en los cometas radiados por nuestro sol. No obstante aun siendo diferentes las moléculas originarias en cada caso el proceso de emisión del oxígeno ionizado es el mismo (las transiciones de niveles de los electrones son las mismas).



### Conclusiones:

Los medios de los que hoy se disponen a nivel amateur son realmente asombrosos. No solo a nivel de las herramientas y aparatos con los que trabajar en astronomía, y más específicamente en espectrografía astronómica, sino también de una manera inimaginable para un científico de cincuenta años, con respecto al acceso a bibliotecas de documentación especializada, bases de datos, programas de simulación y catálogos experimentales.

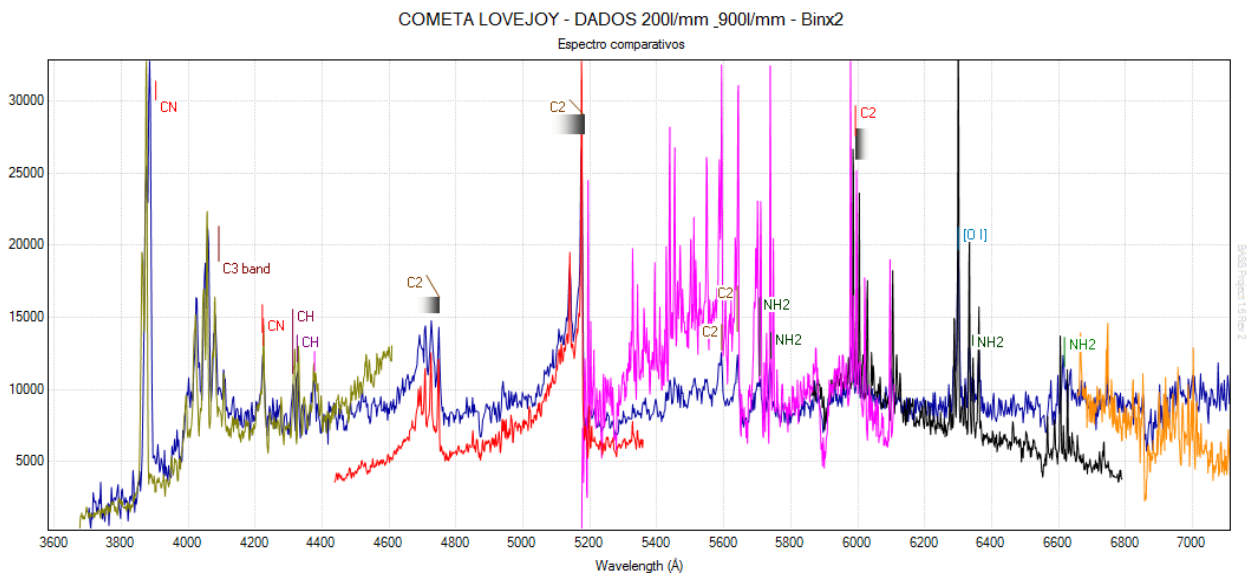
Todo ello hace de nuestra tarea de simple aficionado, un apasionante viaje a los entresijos de la más puntera ciencia espectrográfica.

Hemos comprobado con nuestros propios medios como los cometas son portadores de moléculas complejas que constituyen los ladrillos fundamentales de los que se vale el edificio de la vida para su sustento.

El estudio discursivo sobre la identificación de líneas de emisión abre las puertas para profundizar en el estudio de los cometas, en su clasificación, y por qué no, en la identificación de nuevas líneas y elementos tales como la cuestión abierta de la línea de Bobronikoff.

La magnitud real de los cometas para la técnica espectrográfica es mucho menor que la visual ya que aquella disminuye al no tener en cuenta la luminosidad de todo el objeto sino la línea o puntos de luz de los que obtiene el espectro. Eso nos obligará en otros estudios a realizar exposiciones de mayor tiempo que nos puedan proporcionar espectros claros a alta resolución.

El primer ladrillo está puesto. Será interesante continuar estudios comparativos con medio interestelar, discos de acreción, protoestrellas, discos protoplanetarios y estudios de laboratorio para continuar contemplando las manos que tejen la vida.



Conjunto comparativo de espectros obtenidos del Cometa Lovejoy a 900 l/mm sobre el mismo a 200 l/mm en azul.

**BIBLIOGRAFÍA:**

- “Heat and Gas Diffusion in Comet Nuclei”. Walter F. Huebner, Johannes Benkho, Maria-Teresa Capria, Angioletta Coradini, Christina De Sanctis, Roberto Orosei & Dina Prrialnik. (August 8, 2006)
- “Catalog of the emission lines in the visible spectrum of comet 153P/Ikeya-Zhang”. G. Cremonese, M. T. Capria, and M. C. De Sanctis.
- “Note of the spectrum of the periodic comet Temple-2 (1925d)”. N.T. Brobovnikoff.
- “A high-resolution catalog of cometary emission lines”. The Astronomical Journal, volume 112, number 3, september 1996. M. E. Brown, A. H. Bouchez, h. Spinrad & c. M. Johns-Krull.
- “Exploration of Spectra of Periodic Comet 153p/Ikeya–Zhang” (2002). K. I. Churyumov, I. V. Lukyanyk, L. S. Chubko, V. V. Kleshchonok, A. A. Berezhnoy, V. H. Chavushyan, L. Sandoval & A. Palma.
- “Atomic and Molecular Emission Lines from the Red Rectangle” (2004). L. M. Hobbs, J. A. Thorburn, T. Oka, J. Barentine, T. P. Snow, and D. G. York.
- “Cometary Spectroscopy”. Nicolas Biver. LESIA, UMR8109 du CNRS, Observatoire de Paris-Meudon.
- “The spectrum of the periodic comet Encke” (1984). P.S. Goraya, B.B. Saneal & B.S. Rautela.
- “Exploration of the comet 19P/Borrelly, obtained with the MPFS and scorpio of 6M telescope on Aug. 2001”. K.I. Churyumov, I.V. Lukyanik, V.L. Afanasiev & A.V. Moisseev.