

# masa, distancia y radio de la nebulosa planetaria NGC 6302\*

Maximiliano Faúndez A.\*\*

---

*RESUMEN: NGC 6302 es una nebulosa planetaria ópticamente delgada en el continuo de Lyman. La temperatura y densidad de electrones fueron calculadas por Danziger et al. (1973) y Faúndez (1981), respectivamente.*

*La masa nebular promedio determinada es  $M = 0.013 M_{\odot}$ , y la distancia promedio es  $D = 0.34 \beta pc$ , para  $\epsilon = 1.0$ . El factor de porosidad adoptado para los cálculos fue  $\epsilon = 1.0$  y  $\epsilon = 0.5$ .*

*El radio de NGC 6302, calculado usando el método de O'Dell (1962) fue  $R = 0.039 pc$ , para  $\epsilon = 1.0$ .*

*SUMMARY: NGC 6302 is an optically thin planetary nebula in the Lyman continuum. The temperature and electron density were calculated by Danziger et al. (1973) and Faúndez (1981), respectively.*

*The average nebular mass determined is  $M = 0.013 M_{\odot}$ , and the average distance is  $D = 0.34 \beta pc$ , for  $\epsilon = 1.0$ .*

*The filling factor adopted for the calculations was  $\epsilon = 1.0$  and  $\epsilon = 0.5$ .*

*Using the O'Dell (1962) method, the calculated radio of NGC 6302 is  $R = 0.039 pc$ , for  $\epsilon = 1.0$ .*

---

\* Manuscrito revisado y aprobado en forma definitiva en Noviembre de 1981.

\*\* Departamento de Física, Facultad de Ciencia, Universidad de Santiago de Chile (ex-Universidad Técnica del Estado).

## 1. INTRODUCCION

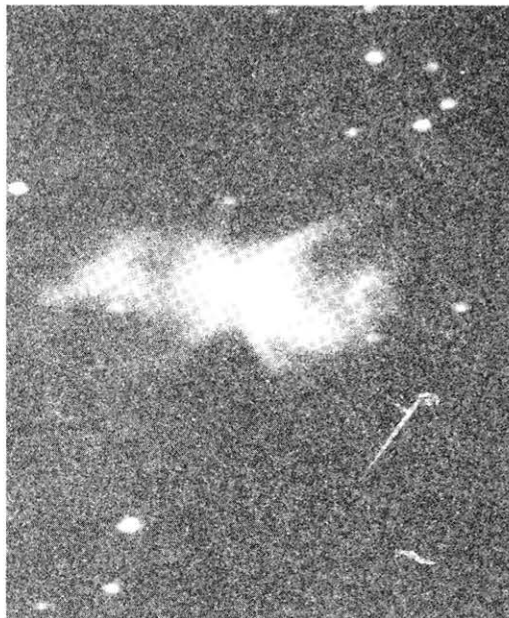
La nebulosa planetaria NGC 6302 = S1-3, designada por 349 + 1° 1 en el catálogo de Perek y Kohoutek (1967), presenta muchas características que usualmente no están asociadas con nebulosas planetarias, de modo que se le considera como un objeto peculiar dentro de los de su género.

Evans (1959), Minkowski y Johnson (1967), Oliver y Aller (1969) y Danziger, Frogel y Persson (1973), han hecho observaciones en el rango de longitudes de ondas ópticas. Los estudios de este objeto muestran que tiene una forma irregular (Fig. 1.1 y 1.2), con una estructura filamentaria bastante notoria. El gas se expande de tal manera, que sugiere un origen explosivo de gran magnitud. El estudio del espectro en el rango óptico muestra que es una de las nebulosas planetarias con más alto grado de excitación e ionización conocido.

Elliott y Meaburn (1977), hicieron un análisis del gas ionizado y del gas neutro de este objeto, cuyos resultados sugieren la presencia de un viento estelar. Meaburn y Walsh (1980) muestran una evidencia directa de la existencia de dicho viento estelar para NGC 6302.



**Figura 1.1.**  
Fotografía de NGC 6302, tomada en Junio de 1981, con una placa de emulsión 103 a D y un filtro GG 495 (V), 15<sup>m</sup> de exposición; se usó el telescopio de 1 metro del Observatorio Las Campanas. (Obtenida por Ana María Osorio (1981)).



**Figura 1.2.**  
Fotografía de NGC 6302, tomada en Junio de 1981, con una placa de emulsión 103 a O y un filtro Rg 385 (B), con 60<sup>m</sup> de exposición, se usó el telescopio de 60 cm. del Observatorio Las Campanas. (Obtenida por Pablo González (1981)).

Gottlieb y Upson (1969) y Cahn y Kaler (1971), han realizado determinaciones de la distancia de NGC 6302.

En este trabajo se analizarán dos métodos que se usan para obtener masas en nebulosas planetarias, y que se aplicarán a NGC 6302, éstos son el método de O'Dell (1962) y el método de Perinotto (1975).

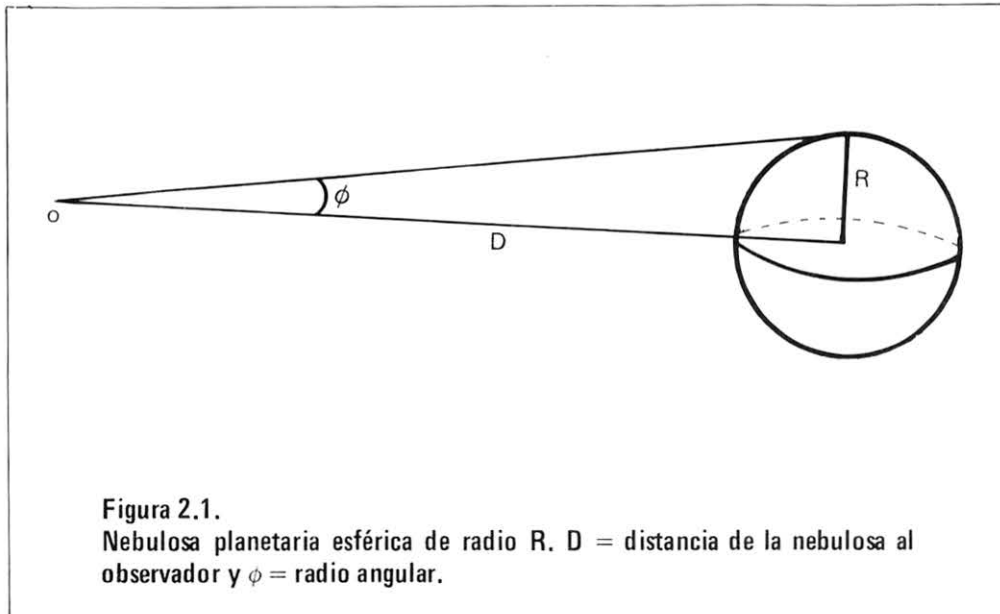
Obtenida la masa de este objeto, se hará una redeterminación de su distancia y de su radio.

## 2. METODO PARA OBTENER LA MASA

Si se deseara determinar la masa de una nebulosa planetaria en forma directa, bastaría usar una simple relación como:

$$M = V \cdot \rho \quad (2.1)$$

en que  $V$  es el volumen de la nebulosa y  $\rho$  su densidad (la cual se podría suponer uniforme en todo el volumen, para simplicidad del modelo). Una mayor idealización de este modelo sería suponer a la nebulosa como un cuerpo esférico de radio  $R$  (Fig. 2.1), cuyo gas está fundamentalmente compuesto de H ionizado, de modo que  $N_e = N_p$ .



Reemplazando el volumen y la densidad de este gas en la ecuación (2.1) se obtiene,

$$M = \frac{4}{3} \pi R^3 N_e m_H \epsilon \quad (2.2)$$

donde  $R$  es el radio de la nebulosa,  $N_e$  la densidad de electrones del gas,  $m_H$  la masa del átomo de hidrógeno y  $\epsilon$  el factor de porosidad (fracción de una esfera de radio  $R$ , llenada por materia radiante).

Como  $\text{tg } \phi = \frac{R}{D}$  directamente de la Fig. 2.1 despejando el radio, nos queda:

$$R = D \text{ tg } \phi \quad ,$$

pero si  $\phi$  es muy pequeño

$$R = D \phi \quad , \quad (2.3)$$

en que  $\phi$  está expresado en radianes.

Reemplazando (2.3) en (2.2) obtenemos que:

$$M = \frac{4}{3} \pi D^3 \phi^3 N_e m_H \epsilon \quad , \quad (2.4)$$

de modo que para determinar la masa de una nebulosa planetaria se debería conocer su distancia  $D$ , el radio angular  $\phi$ , la densidad de electrones  $N_e$ , la masa del átomo de hidrógeno y finalmente el factor de porosidad.

De las magnitudes antes mencionadas, sólo se pueden determinar con una buena precisión y no mucha dificultad,  $\phi$  y  $N_e$  (dependiendo de un bajo error de observación). Además  $m_H$  es una cantidad conocida.

La dificultad de la ecuación (2.4) es obtener valores para  $D$  y  $\epsilon$ . Métodos astrofísicos ya existentes para determinar  $D$ , como el del decremento de Balmer, el del He II y el método de Sobolev (Gurzadyan, 1969), dan algunos resultados buenos en casos particulares.

Como el uso de la ecuación (2.4) requiere conocer la distancia de la nebulosa planetaria, varios autores han creado y optimizado diferentes métodos para solucionar este problema.

Algunos métodos más modernos para la determinación de  $D$  y  $\epsilon$  se presentarán en el Capítulo 5.

En este trabajo usaremos lo que se llamará el método de O'Dell y el de Perinotto para el cálculo de la masa. Ambos están basados en la emisión de la línea  $H\beta$ . El segundo método (Perinotto) es una optimización del primero.

#### Método de O'Dell

Una interesante relación para la masa fue encontrada por O'Dell (1962), en función de parámetros que en principio pueden ser bien determinados en las nebulosas planetarias.

$$\log M = 51.60 + 3 \log F(H\beta) - 6 \log \phi - 51 \log N_e - 21 \log \epsilon - 3 \log f(T_e) \quad (2.5)$$

de modo que la masa queda en función de: el flujo de  $H\beta$  en  $\text{erg/cm}^2 \text{ seg}$ , corregido por extinción interestelar; el radio angular aparente  $\phi$ , en segundos de arco; la densidad de electrones  $N_e$ , el factor de porosidad  $\epsilon$  y  $f(T_e)$ , (Aller, 1956), con:

$$f(T_e) = \frac{10^6}{T_e^{3/2}} \exp \left( \frac{9800}{T_e} - 0.98 \right) \quad (2.6)$$

La masa obtenida con la ecuación (2.5) está expresada en unidades de masas solares.

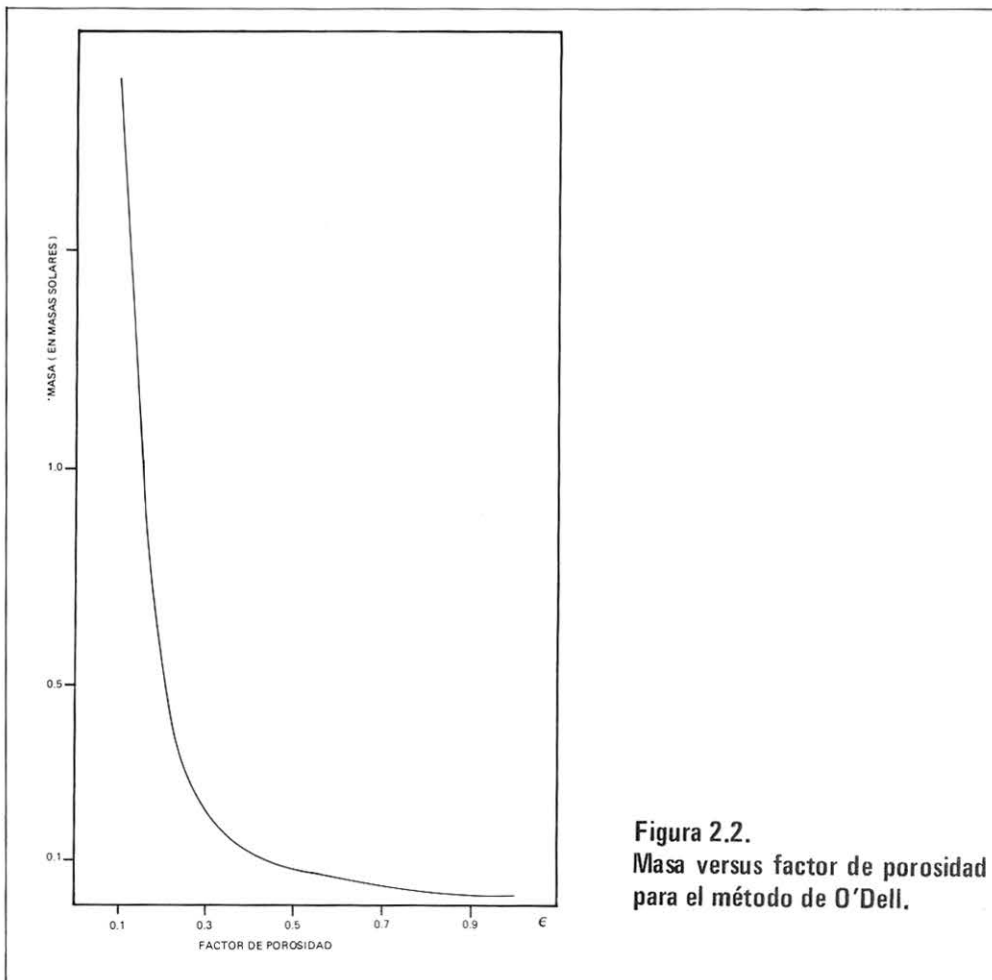
De la observación se puede determinar el flujo de  $H\beta$ , la densidad de electrones  $N_e$ , y la temperatura de electrones  $T_e$  para determinar  $f(T_e)$ . El radio angular aparente también se puede determinar por observaciones o usar el ya calculado por otros autores.

El parámetro que presenta dificultades para obtenerlo con un cierto grado de precisión a partir de las observaciones es el factor  $\epsilon$  de porosidad. Se podría solucionar el problema usando el criterio de Seaton (1966), que atribuye a este factor un valor  $\epsilon = 0.7$  cuando la estrella central de la nebulosa planetaria está completamente envuelta por el gas, y el valor  $\epsilon = 0.35$  cuando la nebulosa tiene una estructura de anillo.

Para ver el comportamiento de la ecuación (2.5) con respecto a  $\epsilon$ , se usaron los parámetros de NGC 6302 dados en el capítulo 3, dejando a  $\epsilon$  como una variable que toma valores entre 0.1 y 1.0. Los resultados obtenidos están en la Tabla 2.1 y Fig. 2.1.

**TABLA 2.1**  
**Método de O'Dell:**  
**Masa en función del factor de porosidad.**

$\epsilon$	M (en $M_{\odot}$ )
0.1	1.887
0.2	0.472
0.3	0.210
0.4	0.118
0.5	0.076
0.6	0.052
0.7	0.039
0.8	0.030
0.9	0.023
1.0	0.019



**Figura 2.2.**  
**Masa versus factor de porosidad**  
**para el método de O'Dell.**

### Método de Perinotto

Perinotto (1975) deduce una ecuación para encontrar la masa de las nebulosas planetarias, en la cual incluye la contribución del helio a la masa nebular.

$$\begin{aligned} \log M = & 41.5015 + 3 \log F_0 (\text{H}\beta) + 3 C - 6 \log \phi - \\ & - 5 \log \text{Ne} - 2 \log \epsilon + 2.52 \log \text{Te} + \log (1 + 4Y) + \\ & + 2 \log (1 + Y_1 + 2 Y_2) \quad , \end{aligned} \quad (2.7)$$

donde  $F_0 (\text{H}\beta)$  es el flujo  $\text{H}\beta$  no corregido por extinción interestelar y  $C$  es la constante de enrojecimiento,  $\phi$  el radio nebular en segundos de arco,  $\text{Ne}$  la densidad de electrones,  $\epsilon$  el factor de porosidad,  $\text{Te}$  la temperatura de electrones, e  $Y$ ,  $Y_1$ ,  $Y_2$  la abundancia de helio neutro, una vez ionizado o dos veces ionizado, dada por:

$$Y_1 = \frac{N(\text{He}^+)}{N(\text{H}^+)} \quad , \quad Y_2 = \frac{N(\text{He}^{++})}{N(\text{H}^+)}$$

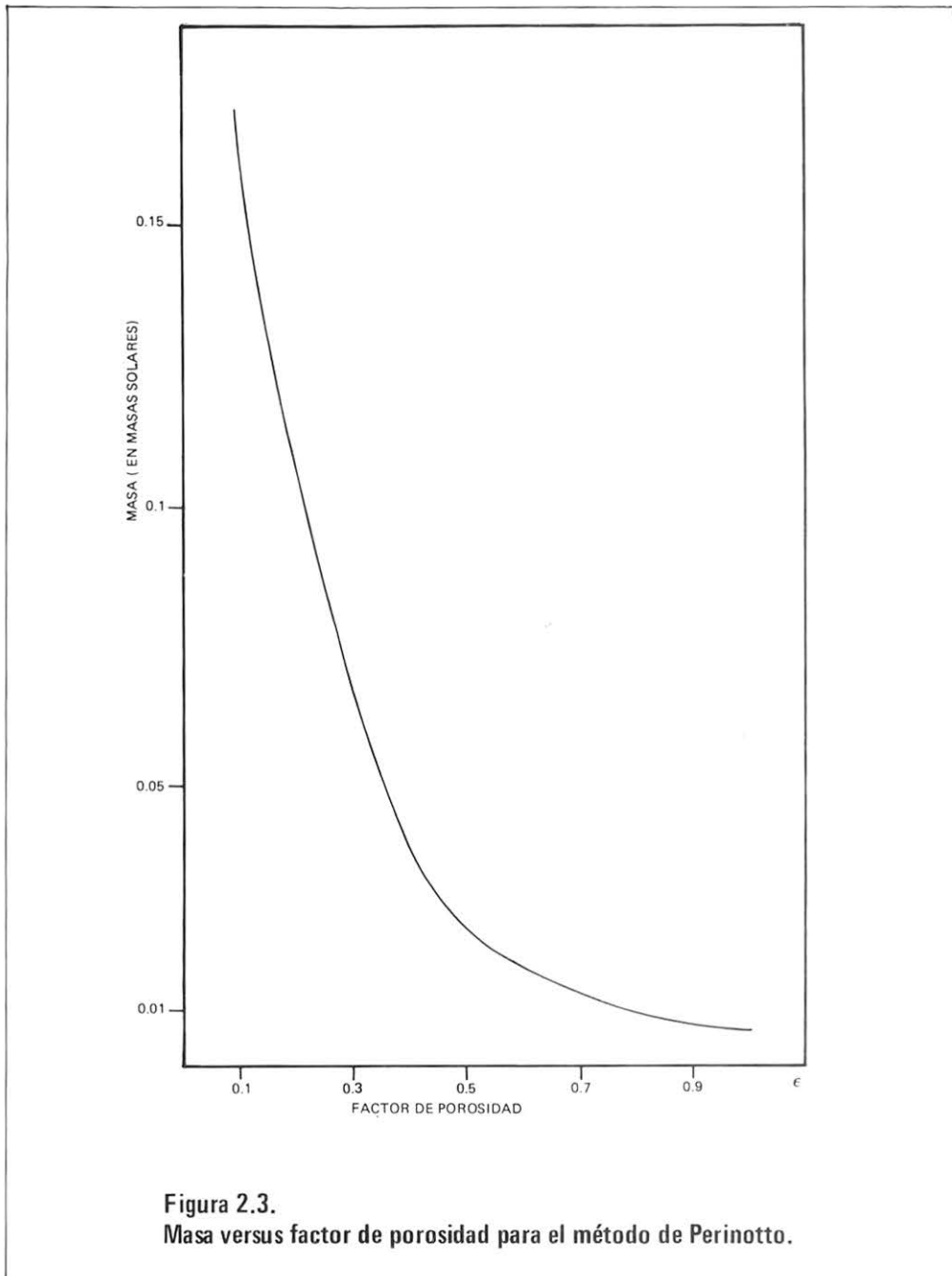
$$Y = \frac{N(\text{He})}{N(\text{H})} = Y_1 + Y_2$$

Al igual que en el método de O'Dell, la Tabla 2.2 y la Fig. 2.3, muestran el comportamiento de la ecuación (2.7) cuando  $\epsilon$  toma valores entre 0.1 y 1.0.

Para el cálculo de  $Y_1$  se usaron las líneas del He I,  $\lambda$  4471,  $\lambda$  5876,  $\lambda$  6678 (promedio de ellas), y para  $Y_2$  la línea del He II  $\lambda$  4686 (Tabla 3.2).

TABLA 2.2

Método de Perinotto:	Masa en función del factor de porosidad
$\epsilon$	M (en $M_\odot$ )
0.1	0.170
0.2	0.109
0.3	0.067
0.4	0.038
0.5	0.024
0.6	0.017
0.7	0.012
0.8	0.009
0.9	0.007
1.0	0.006



Analizando el comportamiento de las dos funciones  $M(H_{\beta}, \phi, Ne, \epsilon, f(Te))$  [O'Dell, Fig. 2.1], y  $M(H_{\beta}, \phi, Ne, \epsilon, C, Te, He)$  [Perinotto, Fig. 2.2], se puede apreciar que para el método de O'Dell, la masa decrece rápidamente cuando el factor de porosidad tiende a 1.0, mientras que en el método de Perinotto,  $M$  también decrece cuando  $\epsilon$  tiende a 1.0, pero lo hace mucho más suavemente. Las masas obtenidas con este segundo método son aproximadamente tres veces menores que las obtenidas usando el método de O'Dell.

De las figuras y tablas anteriores se puede apreciar que la determinación del factor de porosidad es crítico para una determinación precisa de la masa nebular, y que pequeñas variaciones de  $\epsilon$  para  $0.1 < \epsilon < 0.7$  implican una gran variación en  $M$ . Este efecto es más acentuado en el método de O'Dell.

### 3. CARACTERISTICAS Y PARAMETROS DE NGC 6302

Los datos observacionales que se usan son los obtenidos por Danziger et al. (1973), en cuatro noches de Abril de 1973, con un scanner de dos canales acoplado al telescopio de 92 centímetros de Cerro Tololo Interamerican Observatory.

La Tabla 3.1 entrega los valores calculados para la temperatura de electrones  $T_e$ , la constante de enrojecimiento  $C$ , la densidad de electrones  $N_e$  y el flujo en  $H\beta$  corregido por extinción interestelar.

TABLA 3.1

Nebulosa Planetaria NGC 6302	Ref.
$T_e = 17400 \text{ K}$	1,2
$N_e = 3200 \text{ cm}^{-3}$	2
$C = 1.0$	1,2
$\log F_{H\beta} = -9.770$	2

**Referencias:**

- 1) Danziger et al, 1973
- 2) Faúndez, 1981.

Como el método de Perinotto incluye la abundancia del helio para la determinación de la masa, la Tabla 3.2, da las abundancias para las líneas de recombinación.

La primera columna da el ion, la segunda la longitud de onda en Angstroms, la tercera columna la transición y la cuarta la abundancia respectiva (Faúndez, 1981).

TABLA 3.2

**Abundancia del Helio**

Ion	$\lambda$	Transición	Abundancia
He I	4471	$2^3P - 4^3D$	0.130
He I	5876	$2^3P - 3^3D$	0.190
He I	6678	$2^1P - 3^1D$	0.156
He II	4686	$3^2D - 4^2F$	0.071



**TABLA 3.3**

Flujos de líneas, observados y corregidos

Elemento	$\lambda$	log. Fe	log. Fe*
[O II] <sub>i</sub>	3728	-11.044	- 9.771
He I	3889	-11.552	-10.308
[S II]	4072	-11.764	-10.540
H $\delta$	4101	-11.501	-10.293
H $\gamma$	4340	-11.235	-10.094
[O III]	4363	-11.322	-10.184
He I	4471	-12.076	-10.983
He II	4686	-10.986	- 9.946
H $\beta$	4861	-10.760	- 9.770
[O III]	5007	- 9.591	- 8.633
[N II]	5755	-11.081	-10.281
He I	5876	-11.226	-10.402
[O I]	6364	-11.495	-10.793
[A V]	6435	-11.650	-10.965
[N II]	6561	- 9.538	- 8.890
H $\alpha$	6562	- 9.406	- 8.764
He I	6678	-11.654	-11.034
[S II]	6724	-10.749	-10.125
[A V]	7005	-11.380	-10.785
He I	7065	-11.353	-10.775
[A III]	7136	-10.700	010.125
[A IV]	7171	-12.140	-11.570
[O II]	7326	-11.118	-10.565

Fe\* flujo corregido por extinción interestelar.

#### 4. DETERMINACION DE LA MASA

Como se menciona en el Capítulo 2, se puede calcular con gran precisión y un error relativamente bajo parámetros tales como el flujo de H $\beta$ , la densidad de electrones, la temperatura de electrones, las abundancias de He<sup>+</sup> y He<sup>++</sup>, la constante C de enrojecimiento y el radio angular (todo lo anterior usando diferentes criterios y métodos astrofísicos).

Una estimación del factor de porosidad  $\epsilon$ , como la propuesta por Seaton (1966), daría buenos resultados en algunos casos bien especiales, en que la morfología de la nebulosa planetaria coincide exactamente con la apreciación subjetiva de la magnitud de  $\epsilon$ .

Para nuestros cálculos, usaremos dos valores del factor de porosidad:

- a) el valor usado por los autores O'Dell (1962) y por Cahn y Kaler (1971);  $\epsilon = 1.0$
- b) y el valor que estimamos, al aplicar el criterio propuesto por Seaton (1966), esto es, al inscribir a NGC 6302 en una esfera. El factor de porosidad determinado fue  $\epsilon = 0.5$ .

Como en el Capítulo 2 ya se estudió el comportamiento de la masa en función del factor de porosidad, en los métodos de O'Dell y Perinotto, usando todos los parámetros conocidos de NGC 6302 (Capítulo 3), la Tabla 4.1 muestra la masa obtenida para cada uno de estos métodos.

**TABLA 4.1.**

Método	M(M <sub>⊙</sub> )	
	ε = 1.0	ε = 0.5
O'Dell	0.019 ± 0.0004	0.076 ± 0.0004
Perinotto	0.006 ± 0.0011	0.024 ± 0.0011

La masa obtenida con el método de Perinotto es 3.17 veces menor que la obtenida con el método de O'Dell. Este efecto se debe a que en la ecuación (2.7) la contribución del helio a la masa nebular afecta fuertemente a esta relación, de modo que, en promedio, las masas obtenidas con el método de Perinotto son 3.2 veces menores que las obtenidas por el método de O'Dell.

### 5. DETERMINACION DE LA DISTANCIA

En este capítulo se aplicarán directamente las ecuaciones deducidas por O'Dell (1962), Webster (1969) y Cahn y Kaler (1971), para calcular la distancia de NGC 6302.

La ecuación deducida por O'Dell relaciona la distancia con el flujo H<sub>β</sub>, el radio angular aparente, la densidad de electrones, el factor de porosidad y f(Te), (ecuación 5.1). Todos estos parámetros se encuentran bien determinados para NGC 6302.

$$\log D = 22.85 + \log F(H_{\beta}) - 3 \log \phi - 2 \log Ne - \log \epsilon - \log f(Te) \quad (5.1)$$

al igual que en la ecuación (2.5), F(H<sub>β</sub>) es el flujo de H<sub>β</sub> corregido por extinción interestelar, φ el radio angular aparente en segundos de arco, Ne la densidad de electrones, ε el factor de porosidad y f(Te) se calcula con la ecuación (2.6). La distancia D del objeto queda expresada en parsec.

Webster determina la siguiente relación:

$$\log D = -0.76 + 0.4 \log M - 0.2 \log F(H_{\beta}) - 0.6 \log \phi - 0.2 \log \epsilon \quad (5.2)$$

en esta ecuación la distancia D queda expresada en kiloparsecs. Los diferentes parámetros son: M la masa de hidrógeno ionizado en masas solares, F(H<sub>β</sub>) el flujo de la línea H<sub>β</sub> en erg cm<sup>-2</sup> seg<sup>-1</sup> corregido por extinción interestelar, φ el radio angular en segundos de arco y ε el factor de porosidad. A diferencia de la ecuación (5.1), es necesario determinar M (la masa de la nebulosa) por algún otro método, para poder calcular la distancia D.

Cahn y Kaler, usando un trabajo anterior de Seaton (1968) deducen para la distancia:

$$\log D = -1.31 - 0.2 \log F(H_{\beta}) - 0.6 \log \phi - 0.2 C \quad (5.3)$$

donde la distancia D queda expresada en parsecs, F(H<sub>β</sub>) es el flujo de la línea H<sub>β</sub> observada, φ el radio angular en radianes y C la constante de extinción interestelar y el valor - 1.31 es una constante de calibración, K.

Se han obtenido las soluciones para todas las ecuaciones de distancias dadas. Los resultados de éstas están en la Tabla 5.1. La primera columna indica el método usado para calcular la distancia de NGC 6302, la segunda y tercera la distancia en kpc para los factores de porosidad 1.0 y 0.5 respectivamente, la cuarta y quinta columna entregan la masa en masas solares, con los ε respectivos, usada para calcular la distancia.

**TABLA 5.1**  
**Distancia de NGC 6302**

Método	Distancia (kpc)		Masa ( $M_{\odot}$ )	
	$\epsilon = 1.0$	$\epsilon = 0.5$	$\epsilon = 1.0$	$\epsilon = 0.5$
O'Dell	$0.36 \pm 0.014$	$0.72 \pm 0.014$		
Webster	$0.50 \pm 0.005$	$1.00 \pm 0.005$	0.019	0.076
	$0.31 \pm 0.023$	$0.62 \pm 0.023$	0.006	0.024
Cahn y Kaler	$1.05 \pm 0.03^*$			

\* Independiente de  $\epsilon$ , ya que éste se encuentra implícito en la constante de calibración.

### Radio de NGC 6302

Para determinar el radio de NGC 6302, se usó la relación deducida por O'Dell (1962):

$$\log R = 17.53 + \log F(H_{\beta}) - 2 \log \phi - 2 \log Ne - \log \epsilon - \log f(Te) \quad (5.4)$$

con ésta se determinó un radio  $R = 0.039 \pm 0.003$  parsecs, para un  $\epsilon = 1.0$ .

No existe en la literatura un informe acerca de radios calculados para esta nebulosa planetaria.

### 6. DISCUSION

No existe en la literatura información acerca de la masa de NGC 6302. Los valores obtenidos en este trabajo, están dentro del rango esperado para una nebulosa planetaria como NGC 6302 (Vauclair, 1968).

La distancia de NGC 6302 ha sido calculada por algunos autores. Para tener una visión más clara de la dispersión en distancia de esta nebulosa planetaria, producto de los diferentes métodos y autores, la Tabla 6.1 resume toda la información que existe en el momento.

**TABLA 6.1**

Método	Distancia obtenida en este trabajo (kPc)	Distancia Autor (kPc)	Masa	Notas
O'Dell (1962)	0.36	—	—	—
Webster (1969)	a) 0.50	—	0.019	—
	b) 0.31	—	0.006	—
Cahn y Kaler (1971)	1.05	0.90	—	—
K <sub>1</sub> a)	0.32	—	0.019	—
K <sub>2</sub> b)	0.21	—	0.006	—
Khromov (1965)	—	0.60	—	1
Acker (1978)	—	0.65	—	2
Gottlieb y Upson (1969)	—	0.95	—	3

#### NOTAS:

- 1) La distancia fue deducida a partir del flujo  $F(6630)$  ( $w \cdot m^{-2} Hz^{-1}$ ) (Flujo de onda de radio en la frecuencia 6630 M Hz).
- 2) Distancia obtenida a partir de una escala sintética de distancias.
- 3) Distancia deducida a partir de una relación entre constante de extinción, extinción interestelar versus distancia.

En ésta hemos puesto sólo los valores calculados con  $\epsilon = 1.0$ , ya que éste es el valor del factor de porosidad que han usado el resto de los autores.

En esta Tabla las diferentes columnas dan: (1) el método de cálculo usado en este trabajo, (2) la distancia obtenida en este trabajo usando el método de la columna (1), (3) la distancia deducida por los respectivos autores, y (4) la masa calculada en este trabajo según el método de O'Dell y Perinotto.

La única comparación directa que se puede hacer de la distancia obtenida usando diferentes parámetros, es la que corresponde al método de Cahn y Kaler, deducida con la ecuación (5.3). La diferencia de ambos valores es de 0.15 kpc, la cual se debe a que los valores usados del flujo  $H\beta$ , el radio angular  $\phi$  y la constante de extinción interestelar  $C$  son distintos a los usados por estos autores. A pesar de esto, la distancia obtenida está muy de acuerdo con la obtenida por Cahn y Kaler (1971) y también a la deducida por los autores Gottlieb y Upson (1969).

Valores distintos son los deducidos por los autores Khromov (1965) y Acker (1978), que dan una diferencia de 0.4 kPc aproximadamente, del valor de la distancia deducido en este trabajo, y de 0.3 kPc del deducido por los autores Cahn y Kaler - Gottlieb y Upson.

No existe informe de distancia de NGC 6302 de los autores O'Dell (1962) y Webster (1969).

Interesante es ver cómo influye la masa en los valores calculados de distancia. Para el método de Webster se encuentra que la diferencia de masa usada induce una diferencia de distancia de 0.19 kPc.

Esto implica que el método de Webster es claramente sensitivo a la masa y basta ver la ecuación (5.2) de este método.

No resulta tan simple, en cambio, para el método de Cahn y Kaler. La constante -1.31 de la ecuación (5.3) viene de una calibración hecha por Seaton (1968) en que la constante de calibración está expresada por:

$$K = \left( \frac{M}{(1 + 4Y) 4\pi M_H} \right)^{2/5} \left( \frac{(1 + Y) h \nu_{H\beta} \alpha(H\beta)}{\epsilon/3} \right)^{1/5}$$

con:

M	=	masa de la nebulosa
Y	=	abundancia de helio
$M_H$	=	masa del átomo de hidrógeno
$\alpha(H\beta)$	=	coeficiente de recombinación efectiva para $H\beta$
$\epsilon$	=	factor de porosidad

Seaton toma valores promedios representativos de los parámetros que forman K, de modo de crear una escala de distancia (calibración). Por lo tanto, las distancias deducidas de esta forma tienen un gran valor estadístico, pero en ningún caso es la distancia real que se debería obtener si se usara un método individual de determinación de distancia.

Es por esto que K se calculó de forma independiente para NGC 6302, y los resultados de esto están expresados por  $K_1$  y  $K_2$  en la Tabla 6.1.

Se puede ver que K es sensitivo a M, y la diferencia en masa en este caso induce una diferencia de distancia de 0.11 kPc.

A continuación se hace una tabla esquemática de correlación para poder apreciar la diferencia y la dispersión mínima y máxima que se obtiene al usar los diferentes métodos de

los autores. Designaremos los métodos mencionados aquí mediante la notación siguiente:

- (1) O'Dell
- (2a) Webster (a)
- (2b) Webster (b)
- (3) Cahn y Kaler (en este trabajo)
- (3a)  $K_1$
- (3b)  $K_2$
- (4) Cahn y Kaler (Autores)
- (5) Khromov
- (6) Acker
- (7) Gottlieb y Upson.

**Tabla Esquemática de Correlación  
de Métodos de Distancias.**

	1	2a	2b	3	3a	3b	4	5	6	7
1	0									
2a	0.14	0								
2b	0.05	0.19	0							
3	0.69	0.55	0.74	0						
3a	0.04	0.18	0.01	0.73	0					
3b	0.15	0.29	0.10	0.84	0.11	0				
4	0.54	0.40	0.59	0.15	0.58	0.69	0			
5	0.24	0.10	0.29	0.45	0.28	0.39	0.30	0		
6	0.29	0.15	0.34	0.40	0.33	0.44	0.25	0.05	0	
7	0.59	0.45	0.64	0.10	0.63	0.74	0.05	0.35	0.30	0

Los rectángulos encierran la intersección de métodos que tienen una buena correlación.

En la tabla anterior se ve claramente que existe una buena correlación entre los métodos en que la determinación de la distancia se puede considerar como individual, esto es para ecuaciones en donde la masa no interviene o para las cuales la masa interviene y el valor usado de ésta es el deducido también por un método individual e independiente. Dentro de los métodos bien correlacionados están: O'Dell - Webster - Cahn y Kaler ( $K_1$  y  $K_2$ ).

Existe una mala correlación entre un método que tenga una constante de calibración y un método individual de determinación de distancia.

Un ejemplo claro es el de Cahn y Kaler, con  $K$  como una constante de calibración y  $K$  como un parámetro individual.

## 7. CONCLUSIONES

Finalmente para resumir los resultados de este trabajo, se concluye lo siguiente:

- Adoptando un factor de porosidad  $\epsilon = 0.5$ , la distancia deducida por el método de O'Dell es el doble en magnitud, que la determinada para un  $\epsilon = 1.0$ .
- El radio deducido para esta nebulosa usando la relación de O'Dell (1962) es  $R = 0.039 P_c$ , con  $\epsilon = 1.0$ .

- La masa que se adoptará para este objeto será la masa promedio de las masas obtenidas por los métodos de O'Dell y Perinotto,  $M = 0.013 M_{\odot}$  con un factor de porosidad de 1.0.
- La distancia de NGC 6302 será obtenida de los métodos individuales de determinación de distancia (el promedio de ellos). Con esto, se determina una distancia para esta nebulosa planetaria de  $D = 0.34$  kPc. (Promedio entre: Webster (a), (b) y Cahn y Kaler ( $K_1$  y  $K_2$ )). Considerando siempre un  $\epsilon = 1.0$ .
- $D$  se ajusta bastante bien a la distancia deducida por el método de O'Dell.

En trabajos posteriores se analizarán: la constante de calibración del método de Cahn y Kaler, y la correlación de las determinaciones individuales de  $M$ ,  $D$  y  $R$ .

---

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo es posible gracias a los aportes económicos de DIPLAN II - DICYT, de la Universidad de Santiago de Chile. De la colaboración de los ayudantes del Departamento de Física, Sres. Pablo González y Ana María Osorio A.

Las fotografías de este trabajo fueron tomadas gracias a los tiempos de observación asignados por Mount Wilson and Las Campanas Observatories y por David Dunlop Observatory.

---

## BIBLIOGRAFIA

1. ACKER, A., 1978, *Astrom. Astrophys. Suppl.* 33, 367.
2. ALLER, L.H., 1956, *Gaseous Nebulae* (London: Chapman Hall).
3. CAHN, J.H. and KALER, J.B., 1971, *Ap. J. Suppl.* 22, 319.
4. ELLIOTT, K.H. and MEABURN, J., 1977, *M.N. R.A.S.*, 181, 499.
5. EVANS, D.S., 1959, *M.N.R.A.S.*, 119, 150.
6. DANZIGER, I.J. et al., 1973, *Ap. J.* 184, L29.
7. FAUNDEZ, M., 1981, *Contribuciones N° 46*, 11.
8. GONZALEZ, P., OSORIO, A.M., FAUNDEZ, M., 1981, USACH, Programa de Observación.
9. GOTTLIEB, D.M., and UPSON, W.L., 1969, *Ap. J.* 157, 611.
10. GURZADYAN, G.A., 1969, *Planetary Nebulae*, edited by D.G. Hummer.
11. KHROMOV, G.S., 1965, *Astrom. Zurn.* 42, 543.
12. MEABURN, J. and WALAH, J.R., 1980, *M.N.R.A.S.*, 191, 5P.
13. MINKOWSKI, R. and JOHNSON, H.M., 1967, *Ap. J.*, 148, 659.
14. O'DELL, C.R., 1962, *Ap. J.* 135, 371.
15. OLIVER, J.P. and ALLER, L.H., 1969, *Ap. J.*, 157, 601.
16. OSORIO, A.M., FAUNDEZ, M., 1981, USACH, Programa de Observación.
17. PEREK, L. and KOHOUTEK, L., 1967, *Catalog of Galactic Planetary Nebulae* (Prágue: Czechoslovakian Acad. of Sci.).
18. PERINOTTO, M., 1975, *Astrom. Astrophysis.* 39, 383.
19. SEATON, M.J., 1966, *M.N.R.A.S.*, 132, 113. 1968, *Ap. Letters*, 2, 55.
20. VAUCLAIR, G., 1968, *Ann. Astrophys.* 31, 199.
21. WEBSTER, E.L., 1969, *M.N.R.A.S.*, 143, 79.