

# ORIGEN CINEMATICO DE LAS NUBES OSCURAS DE TAURO Y DE ALGUNOS CUMULOS GALACTICOS LOCALES

C.A. Olano\* y W.G.L. Pöppel\*

Instituto Argentino de Radioastronomía, y  
Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas,  
Universidad Nacional de La Plata, Argentina

**RESUMEN.** Se presentan resultados computacionales relativos al origen cinemático de las nubes oscuras de Tauro y de algunos cúmulos galácticos locales, entre ellos las Pléyades y  $\alpha$  Per. Como el trabajo será publicado oportunamente *in extenso* aquí sólo damos una versión abreviada.

**ABSTRACT.** We present numerical results about the kinematical origin of the dark clouds in Taurus, as well as of several local galactic clusters, among which are the Pleiades and  $\alpha$  Per. AS the paper will be published elsewhere, we give here only a synthesis of the results and main conclusions.

*Key words:* GALAXY-KINEMATICS — INTERSTELLAR-DARK CLOUDS

Para explicar el comportamiento cinemático de una componente de HI observada desde el hemisferio norte en un amplio rango de longitudes galácticas alrededor de  $l = 180^\circ$  ("feature A"), Lindblad (1967) elaboró un modelo que ajustaba satisfactoriamente a las observaciones. De acuerdo a las predicciones de este modelo el material interestelar correspondiente al "feature A" está asociado al Cinturón de Gould y conforma un anillo de gas que se encuentra en movimiento de expansión dentro del campo gravitatorio local producido por la Galaxia. El Sol se encuentra en el interior de este anillo, ocupando una posición alejada del centro de éste. El modelo original fue perfeccionado por Lindblad et al. (1973), mejorándose su ajuste observacional. Posteriormente Olano (1982) incorporó al modelo de Lindblad el efecto de frenado causado por el gas paulatinamente recolectado por acreción sobre el anillo a lo largo de su expansión. Esta perdura al presente y habría sido originada hace  $\sim 3 \times 10^7$  años. Crucial para estos modelos ha sido la comparación de las velocidades radiales predichas para el gas local del IV cuadrante galáctico (predominantemente accesible desde el hemisferio sur) con las velocidades observadas tanto por métodos ópticos (Rickard 1975), como por métodos radioastronómicos (Franco y Pöppel 1978, Morras 1979). El resultado es que el acuerdo de los modelos de expansión de Lindblad con las observaciones puede considerarse como satisfactorio, descartándose en cambio que la cinemática del gas local pudiese explicarse exclusivamente con modelos basados en la teoría de ondas de densidad como el de Burton y Bania (1974).

Por otro lado, las conocidas nubes oscuras de Tauro pertenecen al Cinturón de Gould (Jones y Herbig 1979). Sin embargo, las nubes de Tauro, cuya distancia es de  $\sim 140$  pc (Elias 1978), no están ubicadas sobre el anillo de gas en expansión, sino en su interior, que se supone que ha quedado libre

\* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET, Argentina

de gas por el mencionado efecto de acreción. Además las velocidades radiales medidas en las nubes de Tauro en base a observaciones de líneas moleculares en radio, son sistemáticamente mayores que las predichas por el modelo de Lindblad et al. (1973) (Pöppel et al. 1983).

Con el objeto de poder explicar estas características peculiares de las nubes oscuras de Tauro, hemos examinado la posibilidad de que ellas se hayan originado por eyección de material interestelar desde una zona activa, ubicada sobre el anillo, moviéndose posteriormente hasta la presente posición en el interior del anillo. Con este fin, hemos computado retrospectivamente las órbitas espaciales de puntos de prueba correspondientes a las nubes de Tauro en el potencial gravitatorio de la Galaxia, considerando además la secuencia evolutiva de anillos de gas en expansión ligada al Cinturón de Gould según el modelo de Olano (1982). Buscando las intersecciones simultáneas entre los puntos de prueba con la secuencia temporal de anillos hemos podido ubicar la posición de la zona del anillo de gas que podría haber contenido originalmente a las nubes oscuras de Tauro. Para ello fue necesario fijar las condiciones iniciales a utilizar en los cálculos de las órbitas de los puntos de prueba en base a los parámetros cinemáticos observacionales que caracterizan a las nubes de Tauro, tomados de la literatura.

Nuestros resultados sugieren que las nubes oscuras de Tauro podrían haber sido originadas cinemáticamente hace aproximadamente  $(1,8 \pm 0,35) \times 10^7$  años en una región del anillo en expansión, situada actualmente a una distancia de unos 160 pc, en la dirección de coordenadas galácticas  $l \sim 245^\circ \pm 6^\circ$ ,  $b \sim -14^\circ \pm 1^\circ$  en Puppis-Canis Maior. Las órbitas consideradas como más probables están reproducidas en la Fig.1. La mencionada dirección cae dentro de un amplio rango de longitudes galácticas caracterizado por una notable ausencia de material interestelar local hasta distancias de más de 400 pc del Sol, como resulta de datos observacionales a partir de líneas interestelares y de la absorción del continuo en el EUV (Paresce 1984), y de observaciones desde satélite del material interestelar neutro ubicado delante de estrellas brillantes (Frisch y York 1983), como también del estudio de los excesos de color y del enrojecimiento interestelar (Lucke 1978). Por otra parte, también la orientación del campo magnético local es cercana a la dirección considerada (Valleé 1984).

Nuestros resultados implican que las nubes oscuras de Tauro no debieran contener estrellas de edad mayor que  $(1,8 \pm 0,35) \times 10^7$  años. Esto es compatible con las conclusiones de Jones y Herbig (1979) acerca de que la formación estelar en las nubes de Tauro-Auriga habría comenzado desde hace aproximadamente unos  $0,2$  a  $1,2 \times 10^7$  años, perdurando hasta el presente.

Del análisis del movimiento de los puntos de prueba en la dirección  $z$  perpendicular al plano galáctico, nuestros resultados sugieren que la inclinación del Cinturón de Gould respecto del plano galáctico es creciente en el tiempo.

Además de las nubes oscuras de Tauro, también hemos considerado los posibles orígenes cinemáticos de los cúmulos galácticos  $\alpha$  Per y Pléyades, ubicados ambos en el interior del anillo en expansión y cerca de su centro. Computando las órbitas de estos cúmulos retrospectivamente en base a sus parámetros cinemáticos, buscamos nuevamente las intersecciones con la secuencia evolutiva de anillos. Para  $\alpha$  Per la coincidencia espacial y temporal se produjo hace aproximadamente  $(3,1 \pm 0,1) \times 10^7$  años, es decir prácticamente coincidente con el comienzo de la expansión del gas inicial del anillo. En el caso de las Pléyades nuestros resultados sugieren que la coincidencia se produjo hace aproximadamente  $(2,9 \pm 0,2) \times 10^7$  años, vale decir también bastante cerca del origen espacial y temporal del anillo. (Ver Fig. 2). Nuestra conclusión es que

Fig.1. En líneas finas: órbitas de tres partículas de prueba computadas retrospectivamente. Los círculos abiertos corresponden a la posición presente ( $t = 0$ ), los puntos separan intervalos temporales de  $2 \times 10^5$  años. Las flechas indican el sentido del movimiento. En líneas gruesas: secuencia evolutiva de los anillos de gas en expansión asociados al Cinturón de Gould según los cálculos de Olano (1982). Las posiciones  $P_i$  de las partículas que de finen los anillos están señalados cada 10 valores de  $i$  mediante círculos llenos. El sistema de referencia  $\eta, \xi$  está ubicado en el centro  $O$  de los anillos. El sistema local de referencia ( $t = 0$ ) se halla en  $C$ . Las intersecciones de las tres partículas de prueba correspondientes a las nubes de Tauro con la secuencia evolutiva de anillos están indicadas con  $X$ .

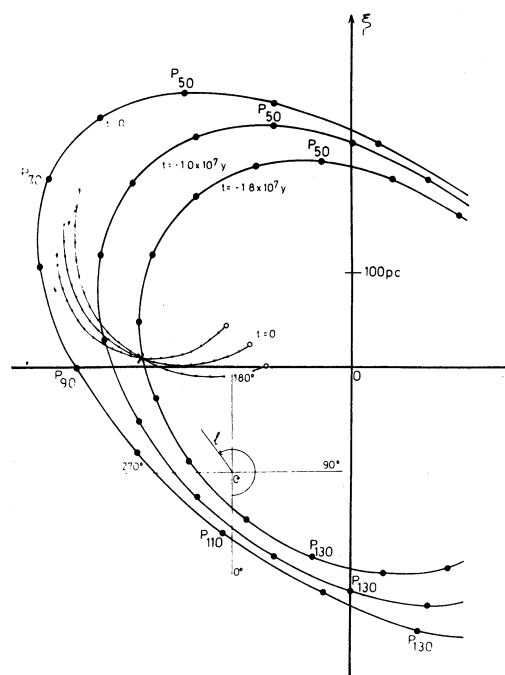
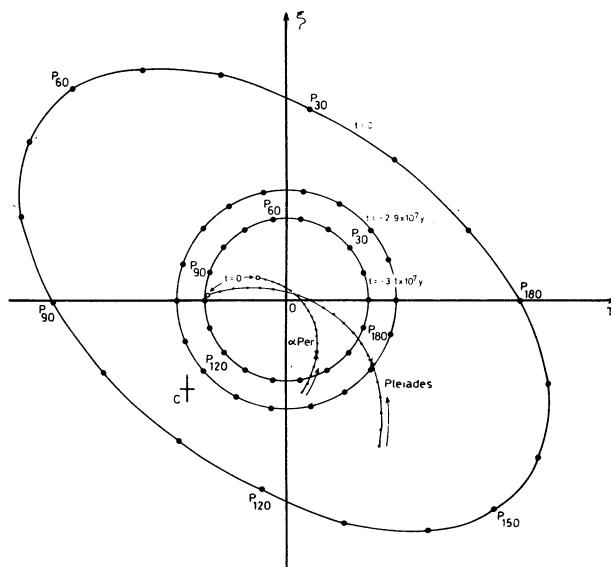


Fig.2. En líneas gruesas: serie evolutiva de anillos de gas asociado al Cinturón de Gould según los cálculos de Olano (1982). En líneas finas: órbitas computadas para sendas partículas de prueba simulando  $\alpha$  Per y las Pléyades. (Para más detalles ver la leyenda para la Fig. 1).



ambos cúmulos se hallan vinculados al origen de la expansión del anillo de gas asociado al Cinturón de Gould, no pudiendo decidirse si los cúmulos mismos también se originaron en dicho proceso o si son anteriores, dada la incertidumbre en la estimación de sus edades reales, que aún no se conocen con la precisión necesaria (Harris 1976).

Finalmente, hemos considerado las órbitas de otros varios cúmulos galácticos cercanos, ubicados en el rango de longitudes galácticas  $l = 235^\circ$  a  $l = 270^\circ$ , varios de los cuales han sido vinculados entre sí por diferentes au-

tores. Los cúmulos que hemos considerado son Cr 135, NGC 2451, Cr 121, Cr 140, NGC 2516, NGC 2547, IC 2391 y Tr 10. En particular, los últimos cinco fueron propuestos recientemente por Lyngå y Wrandemark (1984), como vinculados al Cinturón de Gould. La conclusión de nuestros cálculos es que no parece existir una vinculación física entre los ocho cúmulos considerados y el anillo en expansión del Cinturón de Gould, dado que la forma y el sentido de las órbitas obtenidas no favorecen dicha hipótesis.

## REFERENCIAS

- Burton, W.B., Bania, T.M. 1974, *Astronomy and Astrophysics* 34, 75.  
 Elias, J.H. 1978, *Astrophysical Journal* 224, 857.  
 Frisch, P.C., York, D.G. 1983, *Astrophysical Journal* 271, L59.  
 Franco, M.L., Pöppel, W.G.L. 1978, *Astrophysics and Space Science* 53, 91.  
 Harris, G. 1976, *Astrophysical Journal Suppl. Ser.* 30, 451.  
 Jones, B.F., Herbig, G.H. 1979, *Astronomical Journal* 84, 1872.  
 Lindblad, P.O. 1967, *Bulletin Astronomical Institutes Netherlands* 19, 34.  
 Lindblad, P.O., Grape, K., Sandquist, A., Schober, J. 1973, *Astronomy and Astrophysics* 24, 309.  
 Lucke, P.B. 1978, *Astronomy and Astrophysics* 64, 367.  
 Lyngå, G., Wrandemark, S. 1984, *Astronomy and Astrophysics* 132, 58.  
 Morras, R. 1979, *Astrophysical Letters* 20, 45.  
 Olano, C.A. 1982, *Astronomy and Astrophysics* 112, 195.  
 Paresce, F. 1984, *Astronomical Journal* 89, 1022.  
 Pöppel, W.G.L., Rohlf, K., Celnik, W.E. 1983, *Astronomy and Astrophysics* 126, 152.  
 Rickard, J.J. 1975, *Astronomy and Astrophysics* 41, 403.  
 Vallee, J.P. 1984, *Astronomy and Astrophysics* 136, 373.

## DISCUSSION

MIRABEL: ¿Existe alguna relación con la "ventana de Puppis"? ¿Cuál es la energía requerida para originar el movimiento complejo de Tauro?

POPPEL: Con respecto a la primera pregunta, supongo que sí debe existir. La extensión de la "ventana de Puppis" en distancia (creo que hasta cerca de 1 kpc del Sol) y su ángulo (ver por ejemplo, el mapa de Paresce 1984, A.J., 89, 1022) parecerían indicar que el fenómeno que la produjo sería de efecto mucho más amplio que el de producir meramente el (presunto) desprendimiento de las Nubes de Tauro. Cabe comentar que también el campo magnético galáctico local parece apuntar aproximadamente en la dirección considerada. Con respecto a la segunda, no puedo responder con precisión a ésta. Si solamente para fijar ideas, tomamos una masa de  $1.5 \times 10^4 M_{\odot}$  ("complejo A" de Wouterloot y Habing 1985, *Astr. and Ap. Suppl.*, 60, 43) y una velocidad relativa al anillo de  $10 \text{ km s}^{-1}$  resultaría que la energía cinética transportada por las Nubes de Tauro sería simplemente  $\sim 10^{49} \text{ erg}$ . Pero esto no nos dice nada sobre la energía inicial involucrada en el desprendimiento, que sería mucho mayor, sobre todo si la eficiencia de su conversión en energía cinética es muy baja, o si hubiese otros fenómenos de mayor escala involucrados.

C.A.Olano: Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Auf dem Hügel 69, D-5300 Bonn 1, Alemania.

W.G.L.Pöppel: Instituto Argentino de Radioastronomía, Casilla de Correo 5, 1804 Villa Elisa, B.A., Argentina.