

INFLUENCIA DE LOS ERRORES DE LOS MOVIMIENTOS PROPIOS EN EL ANALISIS DE LA PERTENENCIA DE ESTRELLAS A CUMULOS ABIERTOS. APLICACION AL CUMULO NGC2287

por¹

Eduardo Brieva Bustillo² & Antonio Uribe Botero³

Resumen

Brieva Bustillo, E. & A. Uribe Botero: Influencia de los errores de los movimientos propios en el análisis de la pertenencia de estrellas a cúmulos abiertos. Aplicación al cúmulo NGC2287. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **20**(76): 7-14, 1996. ISSN 0370-3908.

Se analiza la incidencia de los errores accidentales de los movimientos propios en la determinación de la pertenencia de estrellas a cúmulos galácticos. El modelo utiliza una distribución bivariada mixta que incluye el coeficiente de correlación. Sus parámetros se determinan por el método de máxima verosimilitud, resolviendo un sistema de catorce ecuaciones no lineales con constricciones sobre el porcentaje de estrellas pertenecientes al cúmulo, sobre las varianzas del modelo y sobre el coeficiente de correlación. Se presenta una aplicación al cúmulo abierto NGC2287 y se comparan los resultados con los obtenidos si no se tienen en cuenta los errores accidentales.

Palabras claves: Cúmulos abiertos-pertenencia-movimientos propios.

Abstract

The incidence of accidental errors of proper motion data in the solution of the stellar membership to open clusters is analysed. A mixed bivariate normal model with correlation coefficient is used. The parameters of this mixture are determined by the maximum likelihood method solving a fourteen non linear equation system with constraints on the correlation, the percentage of field stars and the standard deviations. The method is applied to solve the membership problem in the open cluster NGC2287 and a comparison with those membership results from proper motions without the consideration of accidental errors is made.

Key Words: Open clusters-membership-proper motions.

¹ El orden de los autores es sólo alfabético.

² Observatorio Astronómico Nacional, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Apartado Aéreo 2584, Santafé de Bogotá. E.Mail:ebrieva@ciencias.campus.unal.edu.co

³ Observatorio Astronómico Nacional, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Apartado Aéreo 2584, Santafé de Bogotá. E.Mail:auribe@ciencias.campus.unal.edu.co

Introducción

La pertenencia de estrellas a cúmulos abiertos a partir de los movimientos propios de las estrellas de una cierta región estelar ha sido analizada en detalle en Sanders (1971), Slovak (1977), Zhao *et al.* (1982), Cabrera y Alfaro (1985), Missana y Missana (1990), Lattanzi y Massone (1991) y en nuestras publicaciones: Brieva y Uribe (1985, 1990, 1994) y Uribe y Brieva (1994).

La influencia de los errores accidentales en los movimientos propios y en el estudio de la pertenencia es analizada de una manera directa en De Graeve (1979) y en Zhao *et al.* (1990); Missana y Missana (1994) tienen en cuenta la incidencia de tales errores de una manera indirecta al considerar el peso de los errores en el análisis de la pertenencia.

En este trabajo se incluye en el modelo el efecto de los errores observacionales de los movimientos propios (Brieva y Uribe, 1990), para lograr así una mayor precisión en la estimación de los parámetros de la función

$$\phi(\mu_x, \mu_y) = \frac{n_c}{2\pi\sigma_c^2} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[\frac{(\mu_x - \mu_{xc})^2 + (\mu_y - \mu_{yc})^2}{\sigma_c^2} \right]\right\} + \frac{1-n_c}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[\frac{(\mu_x - \mu_{xf})^2}{\sigma_{xf}^2} + \frac{(\mu_y - \mu_{yf})^2}{\sigma_{yf}^2} - 2\rho \frac{(\mu_x - \mu_{xf})(\mu_y - \mu_{yf})}{\sigma_{xf}\sigma_{yf}} \right]\right\} \quad (1)$$

En la estimación de los parámetros de la densidad mixta por el método de máxima verosimilitud, se logra un mayor rigor en las estimaciones si las varianzas del modelo se descomponen en una varianza intrínseca y un término de error observacional en los movimientos propios (Zhao *et al.*, 1990):

$$\sigma_c^2 = \sigma_{c_0}^2 + \varepsilon_c^2$$

$$\phi(\mu_x, \mu_y) = \frac{n_c}{2\pi(\sigma_{c_0}^2 + \varepsilon_c^2)} \beta + \frac{1-n_c}{2\pi\sqrt{\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf}^2}\sqrt{\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf}^2}\sqrt{1-\rho^2}} \alpha \quad (3)$$

en donde:

$$\beta = \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[\frac{(\mu_x - \mu_{xc})^2 + (\mu_y - \mu_{yc})^2}{(\sigma_{c_0}^2 + \varepsilon_c^2)} \right]\right\} \quad (4)$$

$$\alpha = \exp\left\{-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[\frac{(\mu_x - \mu_{xf})^2}{(\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf}^2)} + \frac{(\mu_y - \mu_{yf})^2}{(\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf}^2)} - 2\rho \frac{(\mu_x - \mu_{xf})(\mu_y - \mu_{yf})}{\sqrt{\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf}^2}\sqrt{\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf}^2}} \right]\right\} \quad (5)$$

En estas ecuaciones μ_{xc} , μ_{yc} , μ_{xf} , μ_{yf} son los centros de las distribuciones del cúmulo y del campo; n_c y $1-n_c = n_f$, son los porcentajes de las estrellas del

de densidad del modelo bivariado mixto, en la determinación de las probabilidades de pertenencia y en la posterior adscripción al cúmulo de las estrellas que le pertenecen.

El modelo

Vasilevskis *et al.* (1958), Sanders (1971), Slovak (1977), emplean para determinar la pertenencia un modelo de función de densidad bivariada mixta de los movimientos propios μ_x , μ_y , que es la superposición de dos densidades normales bivariadas, una elíptica para las estrellas del campo, y una circular para las estrellas del cúmulo. En Brieva y Uribe (1990) se extiende el modelo de Vasilevskis *et al.* y se incluye el coeficiente de correlación de la densidad elíptica. La segregación entre los miembros del cúmulo y los del campo se analiza, en el caso de movimientos propios determinados con gran precisión, partiendo del modelo:

$$\begin{aligned} \sigma_{xf}^2 &= \sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf}^2 \\ \sigma_{yf}^2 &= \sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf}^2 \end{aligned} \quad (2)$$

en donde σ_c^2 , σ_{xf}^2 , σ_{yf}^2 , son las varianzas observadas; $\sigma_{c_0}^2$, $\sigma_{xf_0}^2$, $\sigma_{yf_0}^2$ son las varianzas intrínsecas, y ε_c^2 , ε_{xf}^2 , ε_{yf}^2 representan términos de error. ε_c se calcula como el promedio de ε_x y ε_y . El modelo de función bivariada mixta que incluye los errores ya mencionados, es pues:

cúmulo y del campo ($1-n_c = n_f$) y ρ es el coeficiente de correlación de la distribución elíptica.

Las razones que justifican este modelo pueden verse en **Brieva y Uribe (1994)**. Allí mismo se explica cómo estimar los parámetros de la distribución bivariada mixta utilizando el método de máxima verosimilitud, si se incluyen las constricciones sobre las desviaciones estándar, la correlación y el porcentaje de estrellas pertenecientes al cúmulo. Siguiendo esta metodología y teniendo en

cuenta que los errores observacionales varían de estrella a estrella, se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones no lineales, en donde μ_{x_i}, μ_{y_i} son las componentes del movimiento propio por siglo para la estrella i -ésima, N es el número total de estrellas de la región con movimiento propio conocido, y ε_i los errores observacionales en los movimientos propios:

$$\sum_{i=1}^N \frac{1-n_c}{1-\rho^2} F_A \left[(\mu_{x_i} - \mu_{xf}) - \frac{\rho \sqrt{\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf_i}^2}}{\sqrt{\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf_i}^2}} (\mu_{y_i} - \mu_{yf}) \right] = 0 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N \frac{1-n_c}{1-\rho^2} F_A \left[\frac{\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf_i}^2}{\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf_i}^2} (\mu_{y_i} - \mu_{yf}) - \frac{\rho \sqrt{\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf_i}^2}}{\sqrt{\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf_i}^2}} (\mu_{x_i} - \mu_{xf}) \right] = 0 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N \frac{(1-n_c)\sigma_{xf_0}}{1-\rho^2} F_A \left[\frac{(\mu_{x_i} - \mu_{xf})^2}{(\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf_i}^2)} - \rho \frac{(\mu_{x_i} - \mu_{xf})(\mu_{y_i} - \mu_{yf})}{\sqrt{\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf_i}^2} \sqrt{\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf_i}^2}} - (1-\rho^2) \right] = 0 \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^N \frac{(1-n_c)\sigma_{yf_0}}{1-\rho^2} F_A \left(\frac{\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf_i}^2}{\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf_i}^2} \right) \left[\frac{(\mu_{y_i} - \mu_{yf})^2}{(\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf_i}^2)} - \rho \frac{(\mu_{x_i} - \mu_{xf})(\mu_{y_i} - \mu_{yf})}{\sqrt{\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf_i}^2} \sqrt{\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf_i}^2}} - (1-\rho^2) \right] = 0 \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^N n_c \sqrt{1-\rho^2} F_B \left[\frac{(\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf_i}^2)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf_i}^2}}{(\sigma_{c_0}^2 + \varepsilon_{c_i}^2)^2} (\mu_{x_i} - \mu_{xc}) \right] = 0 \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^N n_c \sqrt{1-\rho^2} F_B \left[\frac{(\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf_i}^2)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf_i}^2}}{(\sigma_{c_0}^2 + \varepsilon_{c_i}^2)^2} (\mu_{y_i} - \mu_{yc}) \right] = 0 \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^N n_c \sigma_{c_0} \sqrt{1-\rho^2} \frac{(\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf_i}^2)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf_i}^2}}{(\sigma_{c_0}^2 + \varepsilon_{c_i}^2)^2} F_B \left[\frac{(\mu_{x_i} - \mu_{xc})^2 + (\mu_{y_i} - \mu_{yc})^2}{(\sigma_{c_0}^2 + \varepsilon_{c_i}^2)} - 2 \right] = 0 \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^N \sqrt{1-\rho^2} \left[\frac{(\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf_i}^2)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf_i}^2}}{(\sigma_{c_0}^2 + \varepsilon_{c_i}^2)} F_B - \frac{(\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf_i}^2) F_A}{\sqrt{1-\rho^2}} \right] = 0 \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^N \frac{(1-n_c)}{(1-\rho^2)^2} F_A (\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf_i}^2) \left\{ \rho(1-\rho^2) - \rho \left[\frac{(\mu_{x_i} - \mu_{xf})^2}{\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf_i}^2} + \frac{(\mu_{y_i} - \mu_{yf})^2}{\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf_i}^2} \right] + (1+\rho^2) \frac{(\mu_{x_i} - \mu_{xf})(\mu_{y_i} - \mu_{yf})}{\sqrt{\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{xf_i}^2} \sqrt{\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{yf_i}^2}} \right\} = 0$$

$$\sigma_{xf_0} - \lambda_1^2 = 0 \quad (15)$$

$$\sigma_{c_0} - \lambda_3^2 = 0 \quad (17)$$

$$\sigma_{yf_0} - \lambda_2^2 = 0 \quad (16)$$

$$n_c - \lambda_4^2 = 0 \quad (18)$$

$$(1 - \rho^2) - \lambda_5^2 = 0 \quad (19)$$

en donde:

$$F_A = \frac{\sigma_{c_0}^2 + \varepsilon_{c_i}^2}{[n_c \sqrt{\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{x_f}^2} \sqrt{\sigma_{yf_0}^2 + \varepsilon_{y_f}^2} \sqrt{1 - \rho^2} F + (1 - n_c)(\sigma_{c_0}^2 + \varepsilon_{c_i}^2)](\sigma_{xf_0}^2 + \varepsilon_{x_f}^2)} \quad (20)$$

$$F_B = F F_A$$

$$F = \frac{\beta}{\alpha}$$

Las ecuaciones del sistema se obtienen por el método de máxima verosimilitud y las primeras nueve están asociadas, respectivamente, a los parámetros de la función de densidad mixta, μ_{xf} , μ_{yf} , σ_{xf_0} , σ_{yf_0} , μ_{xc} , μ_{yc} , σ_{c_0} , $1 - n_c$ y ρ . Los λ_i , $i=1, \dots, 5$, son incógnitas que deben introducirse al resolver un sistema con constricciones usando multiplicadores de Lagrange (Hancock, 1917; Brieva y Uribe, 1994).

Pertenencia en la región del cúmulo NGC2287

En la figura 1 se muestra el diagrama de dispersión de los movimientos propios en la región del cúmulo NGC2287. Para cada estrella con componentes de movimiento propio μ_{x_i} , μ_{y_i} , la probabilidad de pertenencia al cúmulo P_i , se calcula mediante el criterio Bayesiano de pertenencia (Brieva y Uribe, 1985):

$$P_i = \frac{n_c \phi_c(\mu_{x_i}, \mu_{y_i})}{n_c \phi_c(\mu_{x_i}, \mu_{y_i}) + (1 - n_c) \phi_f(\mu_{x_i}, \mu_{y_i})} \quad (21)$$

en donde ϕ_c y ϕ_f son, respectivamente, las funciones de densidad estimadas del cúmulo y del campo. La solución numérica requiere de un proceso iterativo. Para ello se elaboró un programa en Fortran llamado **Clusterce**, que usa la subrutina **Zsystm**, gentilmente facilitada por el Dr. Mark Slovak, depura los datos según una variante de la técnica de Zhao *et al.* (1982) descrita en Brieva y Uribe (1990), y asigna a cada estrella su probabilidad de pertenencia, la cual puede leerse en la tabla 2. En esta tabla se consignan también los resultados para las probabilidades de pertenencia obtenidos sin tener en cuenta los errores accidentales de los movimientos propios.

Discusión

Una comparación de las figuras 2, 3 y 4 permite resaltar las diferencias y las semejanzas entre varios métodos para asignar probabilidades de pertenencia a las estrellas de la región de un cúmulo abierto. En la figura 1 se muestra la función de densidad de la probabilidad P1 la cual se obtiene teniendo en cuenta los errores accidentales en los movimientos propios, tal como se analiza en este artículo. En la figura 2 se observa la función de densidad para la probabilidad P2 calculada según el método utilizado por Brieva y Uribe (1990), el cual asigna probabilidades de pertenencia resolviendo un sistema no lineal de 9 ecuaciones obtenido por el método de máxima verosimilitud sin eliminar el coeficiente de correlación del modelo bivariado mixto. En la figura 3 se muestra la función de densidad de la probabilidad P3 calculada por Ianna *et al.* (1987) siguiendo el modelo usual propuesto por Vasilevskis *et al.* (1958) que utiliza una función de densidad bivariada mixta, cuyos parámetros -sin incluir el coeficiente de correlación-, se estiman por el método de máxima verosimilitud (Sanders, 1971; Slovak, 1977; Brieva y Uribe, 1985).

La comparación de P1, P2, P3, muestra que estas densidades no son coincidentes aunque tienen un poder de discriminación parecido en los rangos de baja probabilidad y de alta probabilidad de pertenencia. Las pequeñas diferencias de las densidades anteriores se tornan cruciales cuando se analiza de manera singular cuáles estrellas contribuyen nominalmente en el rango de alta y de baja probabilidad, como cuando se desea discernir si una estrella gigante o una estrella cefeida particular es o no un miembro del cúmulo. Es entonces cuando puede considerarse de importancia la metodología desarrollada

en este artículo, ya que se sigue un procedimiento más riguroso al tener en cuenta la contribución de los errores accidentales. Así, si se consideran miembros aquellas estrellas con probabilidad mayor o igual que 0.50, según el valor de P1 habría que incluir como miembros las ocho estrellas 12, 16, 24, 54, 68, 73, 86, 128, 142.

Vale la pena destacar también que el método aquí desarrollado parece discriminar mejor las poblaciones de cúmulo y campo que el procedimiento seguido por

Green (Cudworth, 1984), que, aunque tiene en cuenta también los errores en los movimientos propios no siempre logra la separación de las dos poblaciones en estudio, como puede apreciarse en la aplicación que Ianna *et al.* hicieron del método de Green para analizar la pertenencia en el cúmulo NGC2287 (Ianna *et al.*, 1987).

Todas las estrellas usadas por Ianna como estrellas de referencia, tienen altísima probabilidad en los tres estudios, P1, P2, P3. Las estrellas, 50, 61, 65, 66, 80,

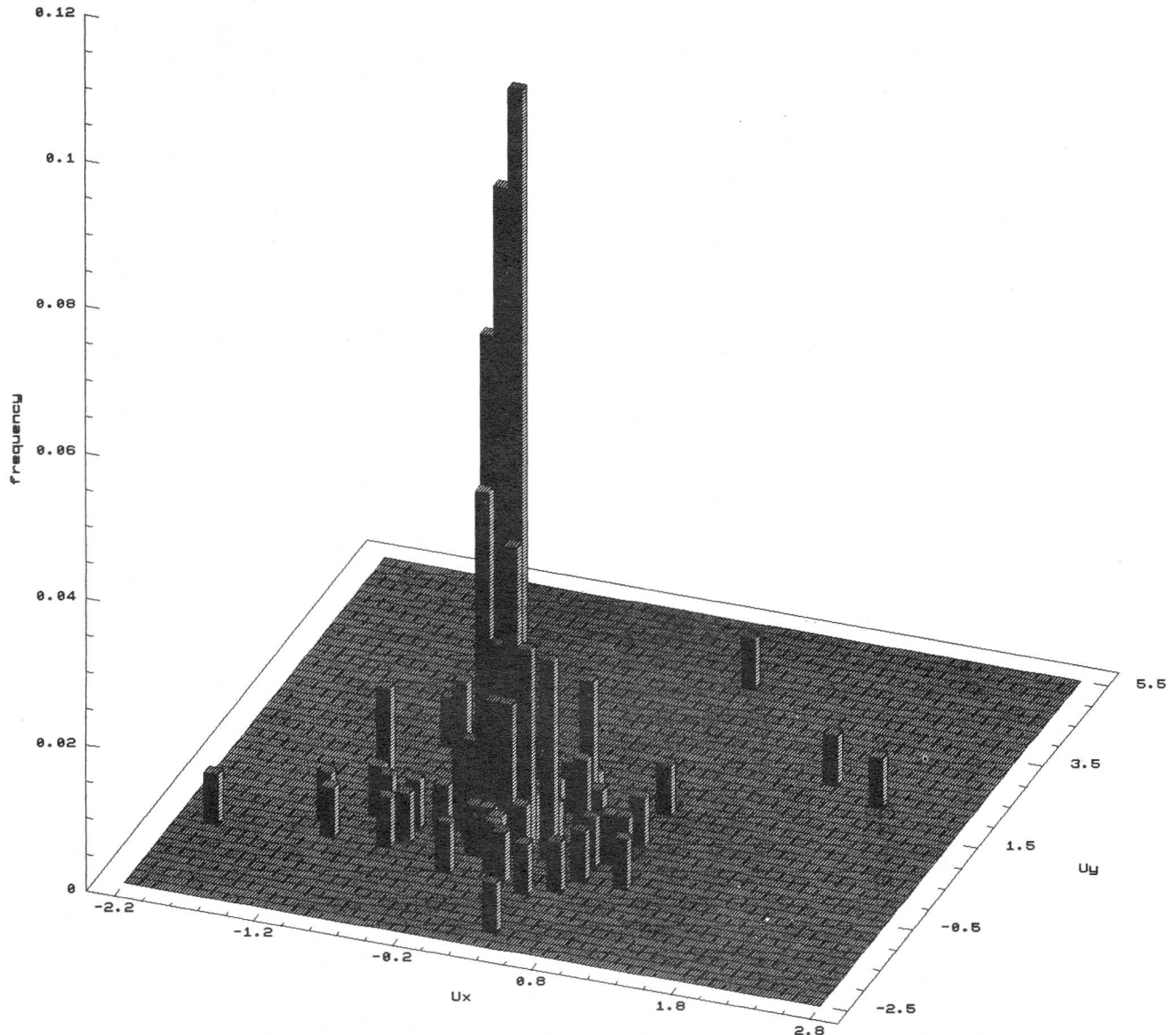


Figura 1. Función de densidad bivariada de los movimientos propios m_x , m_y en segundos de arco por año indicados en la tabla 1. El diagrama emplea 2500 celdas y se ha obtenido usando el programa STATG. Los datos han sido tomados de Ianna *et al.* (1987).

Tabla 1. Movimientos propios μ_x , μ_y y errores observacionales ϵ_x , ϵ_y , para cada una de las estrellas consideradas en la región del cúmulo abierto NGC2287. P1 representa la probabilidad de pertenencia según este estudio; P2, la probabilidad según Brieva y Uribe (1990). P3 asigna probabilidades según el estudio de Ianna *et al.* (1987). El * indica cuales estrellas fueron excluidas por Ianna *et al.*, por imprecisión de los movimientos propios, o por un proceso de depuración que elimina del estudio aquellas estrellas con movimientos propios muy grandes: se les asigna probabilidad nula de ser miembros del cúmulo

N	μ_x	ϵ_x	μ_y	ϵ_y	P1	P2	P3	N	μ_x	ϵ_x	μ_y	ϵ_y	P1	P2	P3
1	.42	.29	.42	.17	.25	.00	.00	74	-.14	.08	-.13	.05	.88	.87	.88
2	.04	.07	-.02	.17	.92	.91	.91	75	-.15	.07	-.21	.09	.68	.70	.72
3	-1.19	.09	-.65	.07	.00	.00	.00 *	76	-.06	.09	-.19	.14	.86	.83	.84
4	-.32	.10	.34	.07	.00	.00	.00	77	-.13	.08	-.13	.09	.90	.88	.89
5	-.03	.09	.23	.11	.69	.37	.38	78	-1.00	.05	.60	.05	.00	.00	.00 *
6	2.20	.17	2.01	.15	.00	.00	.00 *	79	-.10	.06	-.18	.06	.79	.84	.85
7	.10	.08	-.81	.07	.00	.00	.00	80	-.10	.05	.01	.03	.97	.93	.92
8	.13	.21	.43	.08	.15	.00	.00	81	-.01	.04	-.04	.02	.98	.93	.93
9	-.06	.09	-.35	.06	.05	.13	.18	82	.72	.10	4.07	.15	.00	.00	.00 *
10	.04	.06	-.02	.05	.95	.91	.92	83	-.07	.04	-.04	.05	.98	.94	.94
11	.13	.14	-.15	.08	.77	.64	.68	84	.07	.05	-.11	.06	.87	.86	.87
12	.12	.12	.21	.08	.54	.20	.21	85	.06	.05	.01	.13	.93	.89	.89
13	.04	.12	.78	.07	.00	.00	.00	86	.00	.06	.31	.23	.60	.05	.06
14	.67	.08	-.33	.06	.00	.00	.00	87	.51	.07	-.14	.07	.00	.00	.00
15	-.40	.11	1.21	.07	.00	.00	.00 *	88	.00	.05	.09	.04	.93	.87	.87
16	.07	.12	-.28	.11	.55	.32	.41	89	.04	.04	.01	.03	.96	.91	.91
17	.19	.07	-.24	.06	.03	.13	.17	90	.02	.03	.05	.04	.95	.90	.90
18	.06	.62	.75	.57	.62	.00	.00	91	-.16	.10	-.16	.10	.85	.81	.82
19	.75	.18	-.16	.11	.00	.00	.00	92	.42	.17	.55	.10	.00	.00	.00
20	.02	.10	-.06	.07	.94	.92	.92	93	.03	.07	-.23	.08	.59	.65	.71
21	-.04	.04	-.05	.04	.98	.94	.94	94	-.12	.08	.04	.05	.95	.91	.90
22	-.04	.12	-.17	.12	.88	.87	.87	95	.06	.04	-.01	.03	.94	.90	.90
23	-.10	.03	.05	.05	.96	.91	.90	96	.34	.09	-.39	.07	.00	.00	.00
24	-.24	.08	.14	.11	.68	.42	.37	97	.01	.07	.04	.05	.96	.91	.91
25	-.60	.08	-.49	.10	.00	.00	.00	98	.26	.23	.34	.12	.34	.00	.00
26	-.05	.06	-.12	.04	.94	.92	.92	99	-.32	.07	.06	.09	.34	.26	.25
27	-.34	.11	.12	.08	.30	.09	.08	100	.02	.07	.05	.04	.95	.90	.90
28	.06	.09	.02	.07	.93	.88	.89	101	.01	.05	.00	.03	.97	.93	.93
29	-.15	.04	.02	.05	.93	.90	.89	102	.36	.07	-2.15	.07	.00	.00	.00 *
30	-.08	.08	.47	.09	.00	.00	.00	103	.54	.07	-1.04	.12	.00	.00	.00 *
31	-.26	.11	.04	.11	.81	.61	.56	104	.16	.09	.01	.09	.77	.64	.67
32	-.11	.12	.32	.11	.39	.04	.03	105	-.61	.18	-.10	.08	.01	.00	.00
33	-.10	.05	-.02	.06	.97	.93	.93	106	-1.96	1.16	-.88	.80	.46	.00	.00 *
34	-.02	.03	-.02	.03	.98	.94	.94	107	.81	.15	-.12	.15	.00	.00	.00
35	-.08	.03	-.02	.04	.98	.94	.93	108	.52	.06	.28	.10	.00	.00	.00
36	.02	.04	-.06	.03	.96	.92	.92	109	-.05	.19	.67	.13	.01	.00	.00
37	-.82	.07	-.24	.12	.00	.00	.00	110	-.03	.04	-.10	.04	.96	.93	.93
38	.10	.06	-.20	.10	.59	.60	.66	111	-.21	.07	-.14	.07	.70	.74	.73
39	.86	.04	1.16	.08	.00	.00	.00 *	112	-.21	.09	-.11	.08	.82	.78	.80
40	.05	.13	-.23	.10	.74	.61	.67	113	-.32	.11	-.08	.08	.51	.32	.33
41	-.04	.50	1.19	1.32	.46	.00	.00 *	114	-.15	.09	.13	.05	.82	.74	.72
42	.09	.06	-.33	.10	.06	.09	.12	115	-.05	.08	.01	.03	.97	.93	.93
43	.28	.04	.72	.07	.00	.00	.00	116	.39	.04	-.26	.06	.00	.00	.00
44	-.82	.12	1.67	.20	.00	.00	.00 *	117	-.49	.08	-.24	.09	.00	.00	.00
45	.40	.10	-.26	.14	.01	.00	.00	118	-.15	.05	.01	.07	.94	.90	.89
46	-.05	.12	.04	.17	.91	.92	.92	119	.03	.11	-.01	.11	.93	.92	.92
47	.32	.09	-1.07	.19	.00	.00	.00	120	.32	.18	-.37	.13	.10	.00	.00
48	.16	.07	-.16	.10	.54	.48	.55	121	-.18	.10	-.03	.05	.91	.88	.87
49	.04	.06	-.24	.06	.34	.59	.62	122	-.23	.11	.41	.09	.01	.00	.00
50	.00	.04	-.03	.04	.97	.93	.93	123	-1.05	.93	.58	.76	.61	.00	.00
51	-.11	.11	.08	.10	.92	.88	.87	124	-.14	.17	-.06	.10	.91	.91	.91
52	.44	.06	.39	.05	.00	.00	.00	125	1.73	.10	2.34	.08	.00	.00	.00 *
53	-.03	.04	-.01	.06	.98	.94	.94	126	.42	.08	.54	.10	.00	.00	.00
54	-.01	.13	.24	.06	.62	.30	.32	127	.87	.10	.31	.10	.00	.00	.00
55	-.17	.11	.06	.09	.90	.84	.82	128	.04	.13	-.29	.15	.65	.33	.40
56	-.26	.11	.21	.10	.47	.11	.11	129	-.14	.13	-.04	.07	.93	.91	.91
57	-.38	.18	-.05	.08	.55	.09	.10	130	.01	.16	.11	.12	.89	.83	.83
58	-.14	.12	-.11	.08	.91	.89	.89	131	-.47	.16	-.07	.09	.18	.00	.01
59	.04	.18	-.23	.07	.77	.64	.71	132	-.19	.15	-.56	.12	.01	.00	.00
60	-.02	.05	.13	.06	.87	.81	.81	133	.13	.10	-1.01	.08	.00	.00	.00 *
61	.00	.04	.09	.04	.93	.87	.87	134	-1.23	.24	-.35	.14	.00	.00	.00 *
62	-.04	.08	.00	.08	.96	.94	.93	135	-.08	.20	-.50	.15	.26	.00	.00
63	.01	.08	.09	.06	.93	.87	.86	136	.07	.05	-.04	.03	.92	.89	.89
64	-.07	.04	-.01	.06	.97	.94	.93	137	.16	.14	-.28	.12	.45	.10	.15
65	-.05	.03	.05	.04	.97	.92	.92	138	-.02	.15	-.09	.14	.90	.93	.93
66	.02	.03	.01	.03	.97	.92	.92	139	.94	.13	-.66	.13	.00	.00	.00
67	.59	.05	-.14	.06	.00	.00	.00	140	.33	.16	-.11	.14	.39	.01	.02
68	.63	.41	-.63	.99	.55	.00	.00	141	.04	.11	-.65	.13	.00	.00	.00
69	.28	.09	.16	.17	.35	.02	.02	142	-.35	.12	.09	.13	.59	.11	.09
70	-.04	.04	-.34	.10	.05	.16	.23	143	.13	.17	-.17	.17	.77	.59	.63
71	-.06	.05	.08	.06	.95	.89	.89	144	-.28	.14	-.91	.11	.00	.00	.00
72	-.19	.07	-.11	.08	.84	.83	.82	145	-.97	.09	-.02	.16	.00	.00	.00
73	.00	.13	-.31	.13	.59	.28	.35	146	-.73	.22	-.64	.17	.00	.00	.00

83, 89, 95, binarias espectroscópicas, son miembros de NCC2287 con probabilidad superior a 0.93, en concordancia con Ianna *et al.*; una afirmación similar puede hacerse de las posibles binarias, 58, 75, 97, 101, 110. Se aprecia así un cúmulo galáctico rico en estrellas binarias. Las tres estrellas Hg-Mn, 74, 86, 95, también son miembros probables en concordancia con Cox (1954), aunque a la segunda de ellas Ianna le asigna una bajísima probabilidad. Las estrellas gigantes 23, 60, 71 y 100 son miembros con alta probabilidad de pertenencia; no así la gigante 107 que tiene en este estudio una probabilidad nula de encontrarse en NGC2287, en concordancia con Ianna, aunque Cox la considera miembro del cúmulo. La estrella AOp, 17, no pertenece; Am, 26, se adscribe al cúmulo con alta probabilidad de pertenencia, en coincidencia con Ianna *et al.*

La adscripción al cúmulo de las gigantes K señaladas es de importancia fundamental, ya que son usadas para analizar la metalicidad en NGC2287 y en los estudios de evolución estelar.

Esta publicación es el resultado del proyecto de investigación "Astronomía Galáctica, Primera Etapa: Cúmulos Abiertos", y ha sido realizada con la colaboración financiera de COLCIENCIAS, entidad cuyo objetivo es impulsar el desarrollo científico y tecnológico de Colombia. Se ha tenido, además, la ayuda del Comité de Investigaciones y Desarrollo Científico, CINDEC, de la Universidad Nacional de Colombia.

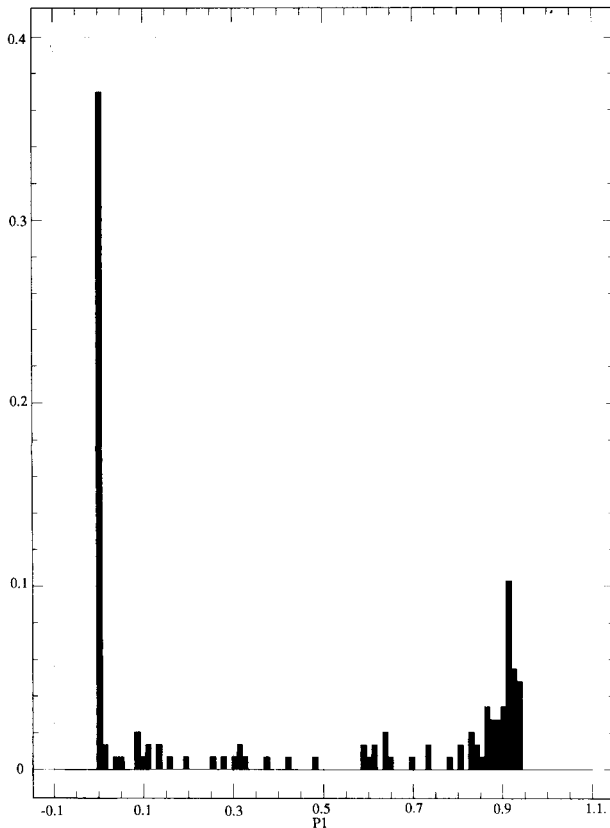


Figura 2. Función de densidad de la probabilidad de pertenencia al cúmulo galáctico NGC2287 cuando se tienen en cuenta los errores accidentales de los movimientos propios. Los datos provienen de la columna P1 de la tabla 1 y se obtienen siguiendo la metodología desarrollada en este artículo.

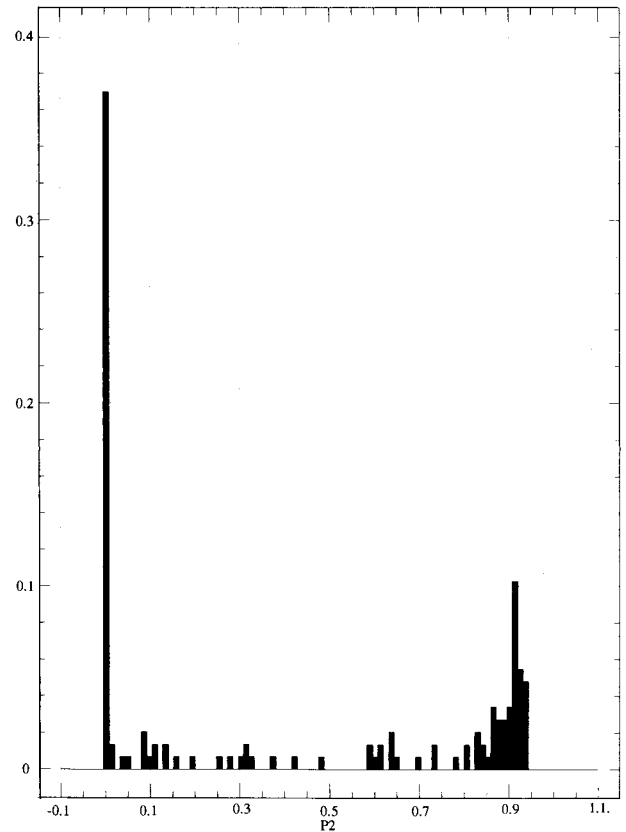


Figura 3. Función de densidad de la probabilidad de pertenencia al cúmulo galáctico NGC2287 cuando no se tienen en cuenta los errores accidentales en los movimientos propios. Los datos provienen de la columna P2 de la tabla 1, y se obtienen usando el modelo de Brieva y Uribe (1990).

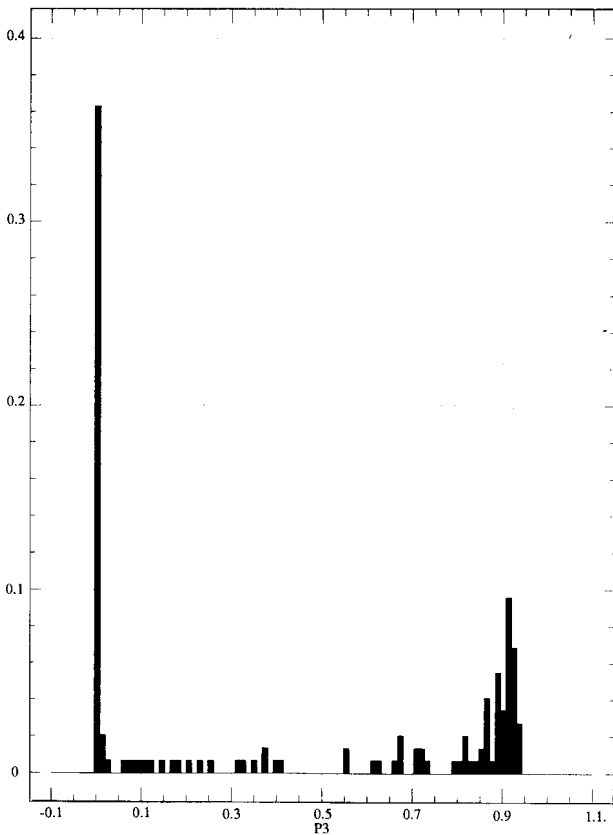


Figura 4. Función de densidad de la probabilidad de pertenencia al cúmulo galáctico NGC2287 cuando no se tienen en cuenta los errores accidentales en los movimientos propios. Los datos provienen de la columna P3 de la tabla 1, y son los encontrados por Ianna *et al.* (1987), al usar el modelo de Vasilevskis (1958) y el método de cálculo de Sanders (1971).

Bibliografía

- Brieva, E. & A. Uribe. 1985. Una aplicación del método de máxima verosimilitud en astronomía galáctica. *Revista Colombiana de Estadística* **12**: 1-21.
- 1990. Sobre la determinación de la pertenencia de estrellas a cúmulos abiertos a partir de movimientos propios. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **17** (66):461-466.
- 1994. Pertenencia de estrellas en la región del cúmulo abierto NGC6530. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **19** (72):7-17.

- Cabrera, J. & E. J. Alfaro. 1985. Analysis of relative proper motion: an improved method to assign membership probabilities in open clusters. *Astron. Astrophys.* **150**: 298-301.
- 1990. A non-parametric approach to the membership problem in open clusters. *Astron. Astrophys.* **235**: 94-102.
- Cox, A. N. 1954. *Astrophys. J.*
- Cudworth, K. 1984. Comunicación personal.
- De Graeve, E. 1979. Astrometric criteria for selecting "Physical Members" of open clusters with low astrometric precision. Application To NGC559. *Vatican Observatory Publications* **1**(16): 283-306.
- Hancock, H. 1917. *Theory of maxima and minima*, Dover, New York.
- Ianna, P. A., Adler, D. S. & E. F. Faudree. 1987. Membership in the open cluster NGC2287. *Astron. J.* **92**: 347-358.
- Lattanzi, M. G., Massone, G. & U. Munari. 1991. Memberships and CM diagrams of young open clusters, I. NGC225. *Astron. J.* **102**: 177-199.
- Missana, M. & N. Missana. 1990. A new method for deriving stellar membership with an application to the open cluster NGC 1664. *Astron. J.* **100**:1850-1858.
- 1994. Amendment of our method for deriving stellar membership in open clusters. Comunicación Personal.
- Sanders, W. L. 1971. An improved method for computing membership probabilities in open clusters. *Astron. Astrophys.* **14**: 226-232.
- Slovak, M. H. 1977. Maximum-Likelihood method for determination of membership in open clusters. *Astron. J.* **82**: 818-823.
- Uribe, A. & E. Brieva. 1994. The problem of stellar membership in open clusters. *Astrophysics and Space Science* **214**: 171-183.
- Vasilevskis, S., Klemola, A. & G. Preston. 1958. Relative proper motions of stars in the region of the open cluster NGC6633. *Astron. J.* **63**: 387-395.
- Zhao, J.L., Tian, K., Su, Z. & M. YIN. 1982. Discussion on the maximum likelihood method for determination of membership in open clusters. *Chin. Astron. Astrophys.* **6**: 293-298.
- Zhao, J. L. & Y.P. HE. 1990. An improved method for membership determination of stellar clusters with proper motions with different accuracies. *Astron. Astrophys.* **237**: 54-60.