

PROPIEDADES SISTEMATICAS DE LAS ORIENTACIONES DE GALAXIAS EN  
CUMULOS LINEALES.

O. Brusco<sup>1</sup> y D. Garcia Lambas<sup>2</sup>

1 FAMAf

2 DAC

**ABSTRACT:** From an analysis of the data of Adams et al. (1980), it is found that position angles of galaxies in linear cluster are non-randomly distributed. Ellipticals are preferentially oriented along the cluster axis, SO tend to be oriented perpendicular, while the distribution of position angles of spirals shows two maxima, one coincident with the position angle of the cluster and other perpendicular to it. These effects are stronger for the densest regions of the cluster and for the brightest galaxies.

**RESUMEN:** A partir de un análisis de datos publicados por Adams y otros (1980) se ha encontrado que los ángulos de posición de galaxias y cúmulos lineales presentan sistematicidades de distribución. Las galaxias elípticas se hallan preferentemente orientadas paralelas al eje del cúmulo; las SO tienden a estar perpendiculares a él, mientras que la distribución de ángulos de posición de espirales presenta dos máximos: uno coincidente con el ángulo de posición del eje del cúmulo y otro perpendicular a él. Estos efectos son más importantes en las regiones más densas de los cúmulos y para las galaxias más brillantes.

## 1. INTRODUCCION

En los últimos años, diversos autores han estudiado la distribución de ángulos de posición de galaxias en cúmulos y las posibles implicancias en lo que hace a la formación de galaxias y cúmulos de galaxias (Brown 1964, 1968; Rood y Baum 1967; Rood y Sastry 1972; Hawley y Peebles 1975; Thompson 1976; Strom y Strom 1978; Adams, Strom y Strom 1980; Djorgovski 1983). Estudios de esta naturaleza pueden ayudar a entender las condiciones que prevalecieron en la época de formación de los cúmulos y los procesos de evolución dinámica ocurridos sobre las galaxias.

En estos trabajos estudiamos cúmulos lineales (L) de la clasificación de Rood y Sastry (1971). Estos cúmulos aparecen elongados en el cielo, especialmente en lo que hace a la distribución de las galaxias más brillantes. Exhiben además signos de segregación de masa, lo cual podría interpretarse en términos de evolución dinámica.

## 2. DATOS Y ANALISIS

Los datos que hemos utilizado han sido extraídos de un trabajo de Adams, Strom y Strom (1980). Consisten de tipos morfológicos, ángulos de posición, magnitudes y posiciones aparentes (sobre fotografías) para galaxias pertenecientes a 6 cúmulos lineales: A 76, A 179, A 194, A 999, A 1016 y A 2197. Hemos excluído el cúmulo A 195 de la muestra de Adams, Strom y Strom, porque años después fue reclasificado como F (Strubble y Rood 1982).

En la Tabla I se observan algunas características de estos cúmulos. La primera columna presenta el número del cúmulo (Abell 1958). Las columnas 2 y 3 incluyen la clase de distancia y riqueza, también definidas por Abell. En las

columnas 4 y 5 se muestra el ángulo de posición del eje del cúmulo (medido del norte hacia el este), el primero definido por nosotros y el segundo tomado del trabajo de Adams, Strom and Strom.

Nuestra muestra de galaxias fue restringida a los 40 miembros más brillantes de cada cúmulo, con el propósito de realizar un tratamiento más uniforme de los datos. Contamos así con una muestra total de 240 galaxias.

Para definir el ángulo de posición del eje de cada cúmulo escogimos, entre las 10 galaxias más brillantes del mismo, a aquellas que visualmente se observaban aproximadamente sobre una línea recta y luego aplicamos el método de los cuadrados mínimos a las coordenadas rectangulares de estas galaxias tomadas de las fotografías. Los ángulos de posición así definidos no difieren mucho de los publicados por Adams, Strom y Strom (ver Tabla I).

TABLA I

Cúmulo	D	R	F.A. cúmulo (grados)	F.A. cúmulo (A.S.S.) (grados)
A 76	3	0	45	50
A 179	3	0	149	151
A 194	1	0	45	43
A 999	3	0	156	161
A 1016	3	0	58	49
A 2197	1	1	99	99

TABLA II

	D. P. A.						$P_1(Z)$	$P_2(Z)$
	$0^{\circ}-15^{\circ}$	$16^{\circ}-30^{\circ}$	$31^{\circ}-45^{\circ}$	$46^{\circ}-60^{\circ}$	$61^{\circ}-75^{\circ}$	$76^{\circ}-90^{\circ}$		
Elípticas	14	8	9	5	7	5	96.7	59.8
SO	3	4	5	2	5	9	87.6	75.4
Espirales	36	20	17	18	16	29	73.8	99.7
Elípticas Región interna	7	4	6	3	2	3	92.1	14.8
Elípticas Región externa	7	4	3	2	5	2	80.3	65.8
SO Región interna	1	1	2	1	2	8	99.2	95.6
SO Región externa	2	3	3	1	3	1	42.5	19.9
Espirales Región interna	20	11	9	6	9	18	51.2	99.9
Espirales Región externa	16	9	8	12	7	11	64.9	72.8
Elípticas Brillantes	10	3	4	3	3	2	98.0	76.4
Elípticas Débiles	4	5	5	2	4	3	56.6	0.0
SO Brillantes	1	1	3	2	2	3	67.2	13.8
SO Débiles	2	3	2	0	3	6	76.3	92.5
Espirales Brillantes	19	10	4	8	9	16	33.5	99.8
Espirales Dobles	17	11	13	9	7	13	80.2	74.9

Con el objeto de encontrar posibles orientaciones privilegiadas calculamos, para cada galaxia, la diferencia entre su ángulo de posición y el ángulo correspondiente al eje del cúmulo al que pertenece (en adelante D.P.A). La figura 1 muestra histogramas de número de galaxias vs. D.P.A. para la muestra total dividida en los tres tipos morfológicos: elípticas, SO y espirales. Resulta claro de observar esta figura que las galaxias elípticas tienden a estar orientadas

paralelas al eje del cúmulo, las SO perpendiculares al mismo, mientras que las espirales presentan un comportamiento bimodal.

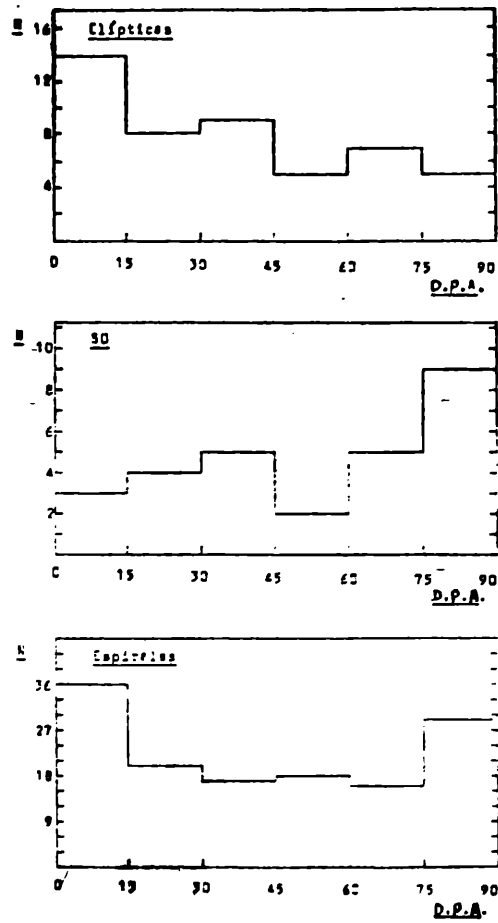


Figura 1: Distribución de D.P.A. de galaxias elípticas, SO y espirales.

En segundo lugar, dividimos a cada una de las muestras observadas en la figura 1 en dos submuestras con similar número de objetos. Una de ellas contiene las galaxias situadas próximas al eje del cúmulo y otras a las más alejadas (en adelante "región interna" y "región externa", respectivamente). Las figuras 2 (a, b y c) muestran los histogramas números de galaxias vs. D.P.A. para estos casos. Es evidente aquí que los efectos anteriormente encontrados se deben principalmente a las galaxias de la "región interna"; esto es a las ubicadas en las regiones más densas de los cúmulos.

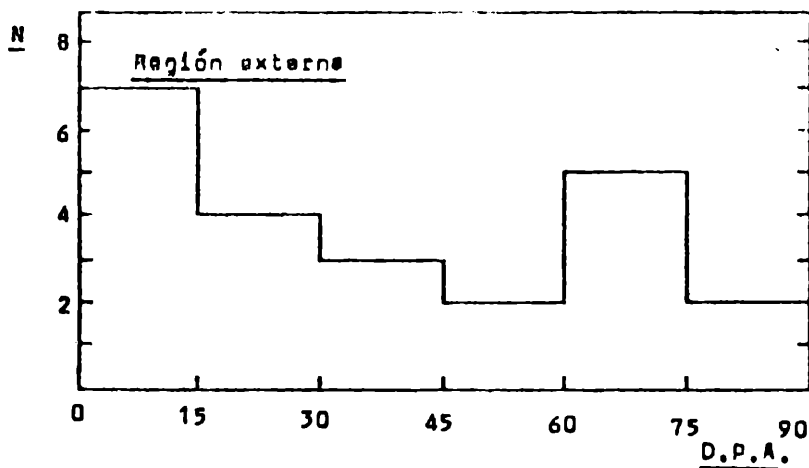
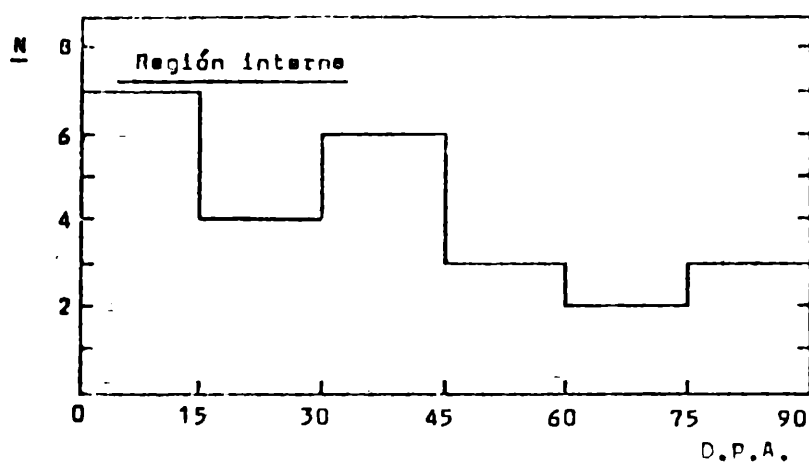


Figura 2-a: Distribución de D.P.A. de galaxias elípticas en las regiones interna y externa

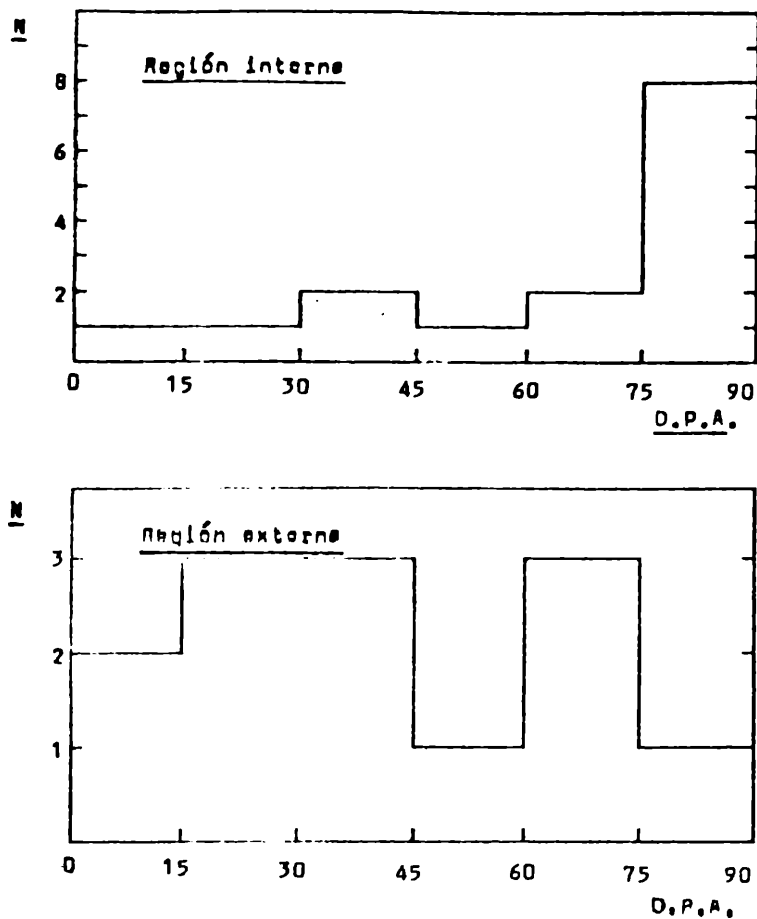


Figura 2-b: Distribución de D.P.A. en galaxias SO en las regiones interna y externa

Por último, volvimos a dividir a cada una de las 3 muestras originales en dos submuestras: galaxias brillantes y galaxias débiles. En las figura 3 (a, b y c) observamos los histogramas números de galaxias vs D.P.A. para estos casos. Evidentemente, los efectos sistemáticos son, en el caso de elípticas y espirales, más importantes para las galaxias brillantes. En las SO no es clara la situación.

Con el objeto de encontrar alguna probabilidad que nos informara acerca de la no aleatoriedad de las distribuciones observadas, realizamos una extensión simétrica de cada histograma al intervalo 90-180 grados y aproximamos las distribuciones con dos funciones:

$$F_1(\theta) = N_0 (1 + A_1 \cos 2\theta),$$

$$\text{siendo } A_1 = \frac{\sum_{i=1}^6 N(\theta_i) \cos 2\theta_i}{3N_0}. \quad (1)$$

$$y \quad F_2(\theta) = N_0 (1 + A_2 \cos 4\theta),$$

siendo 
$$A_2 = \frac{\sum_{i=1}^n N(\theta_i) \cos 4\theta_i}{3N_0} \quad (2)$$

en las cuales:  $\theta_i$  es el ángulo central del intervalo  $i$  del histograma,  $N(\theta_i)$  el número de galaxias en el intervalo  $i$  y  $N_0$  el número medio de galaxias por intervalo.

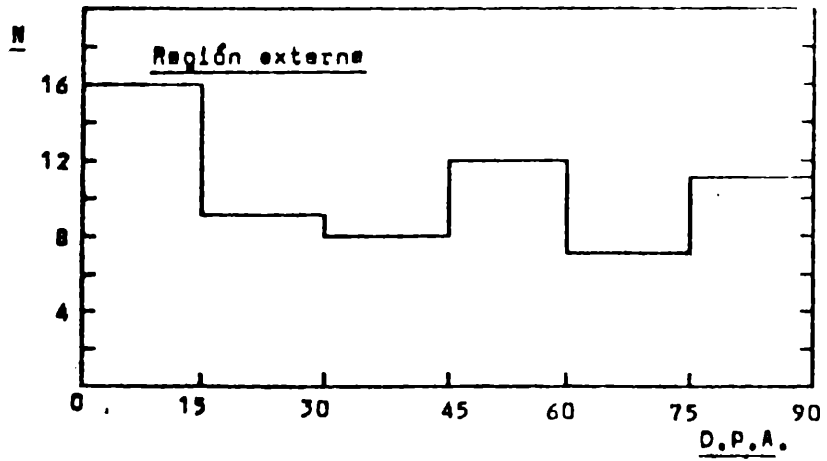
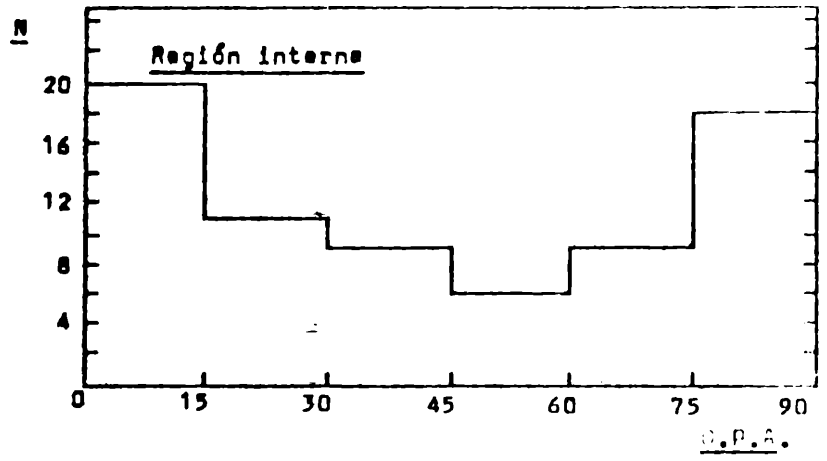


Figura 2-c: Distribución de D.P.A. de galaxias espirales en las regiones interna y externa



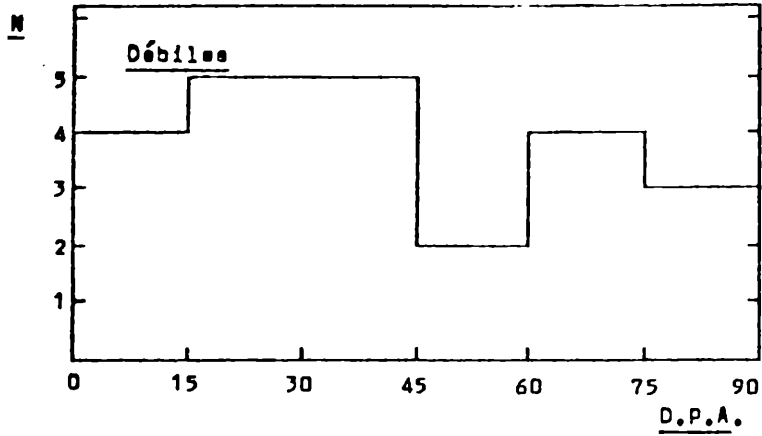
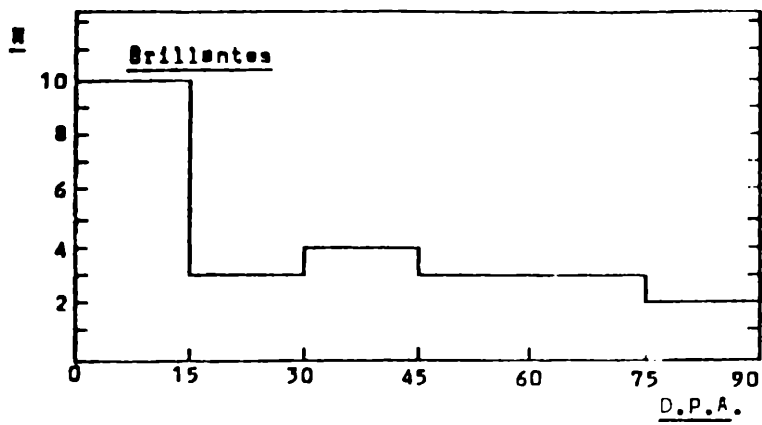


Figura 3-a: Distribución de D.P.A. de galaxias elípticas, divididas en brillantes y débiles

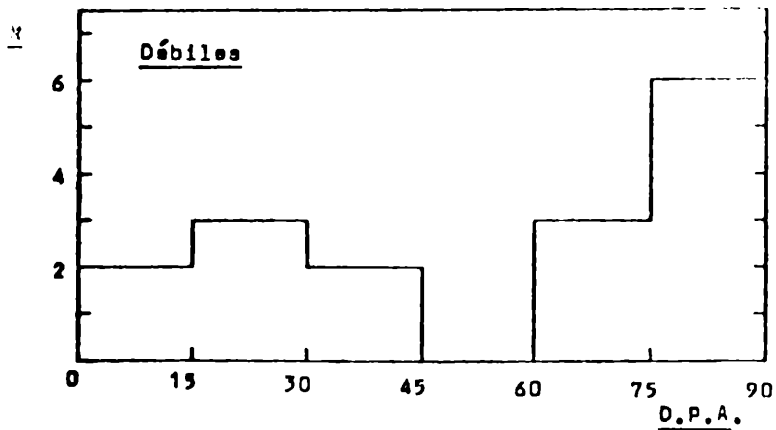
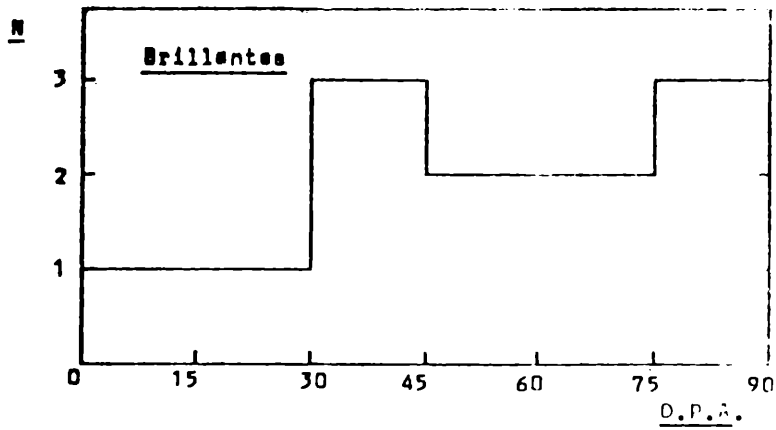


Figura 3-b: Distribución de D.P.A. de galaxias SD, divididas en brillantes y débiles

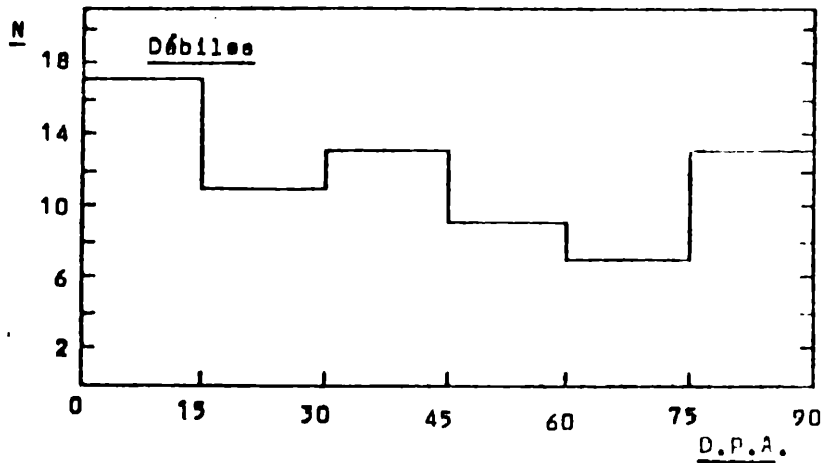
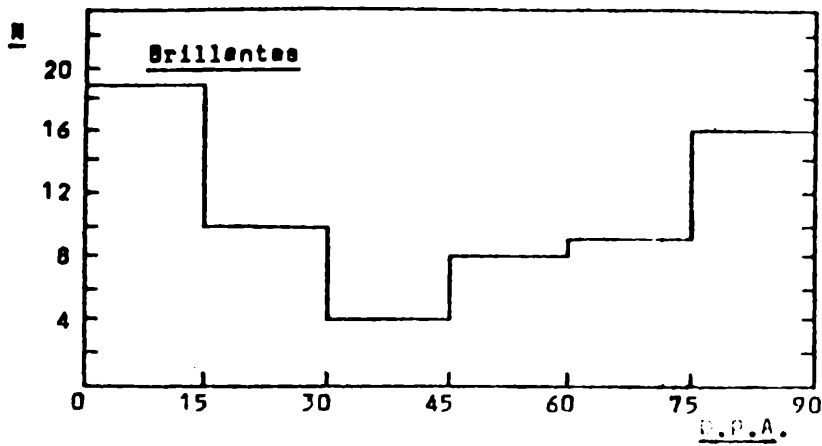


Figura 3-c: Distribución de D.P.A. de galaxias espirales, divididas en brillantes y débiles

La función (1) es especialmente adecuada para detectar sistemáticas en las distribuciones con un máximo en cero grado y un mínimo en 90 grados, o viceversa. La función 2 es apropiada para distribuciones con valores similares en 0 y 90 grados y un máximo o mínimo en 45 grados. Las medidas  $A_1$  y  $A_2$  son una medida del carácter no aleatorio de las distribuciones.

Para obtener la probabilidad de que una dada distribución no sea aleatoria, hemos realizado, para cada una de ellas, 10000 simulaciones Montecarlo con D.P.A. generado al azar entre 0 y 90, utilizándose en cada simulación el

mismo número de galaxias que presentaba la distribución observada. En cada simulación se calcularon los coeficientes  $A_1$  y  $A_2$ . Si llamamos  $Q_1$  y  $Q_2$  a la cantidad de veces (sobre el total de 10000) en que los coeficientes  $A_1^2$  y  $A_2^2$  computados en las simulaciones Montecarlo fueron mayores que los  $A_1^2$  y  $A_2^2$  obtenidos en la distribución observada, podemos definir las probabilidades:

$$P_1 = 100 \left( 1 - \frac{Q_1}{10000} \right),$$

$$P_2 = 100 \left( 1 - \frac{Q_2}{10000} \right).$$

Claramente, estos números  $P_1$  y  $P_2$  se pueden interpretar como la probabilidad de que una dada distribución no sea aleatoria. Un valor de  $P_1$  o  $P_2$  igual a cero equivale a una distribución al azar, mientras que un valor 100 representa una distribución completamente no aleatoria. Recordemos, por lo expresado anteriormente, que la probabilidad  $P_1$  sirve para detectar sistemáticas en aquellas distribuciones para las cuales es útil la función (1), mientras que  $P_2$  tiene sentido para aquellas en las cuales es conveniente la función (2). Evidentemente, en nuestro caso nos interesará especialmente el valor de  $P_1$  para las muestras de Galaxias elípticas y SO mientras que  $P_2$  nos será útil para las espirales.

La Tabla 2 presenta, para cada una de las muestras, el número de galaxias en cada intervalo y los valores de las probabilidades  $P_1$  y  $P_2$ . Obsérvese cómo las probabilidades definidas confirman las propiedades sistemáticas detectadas en la inspección de las figuras.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados encontrados en el punto anterior pueden sintetizarse de la siguiente manera:

a) El eje mayor de las galaxias elípticas tienden a estar paralelo al eje mayor del cúmulo ( $P_1 = 96.7\%$ ).

b) Las galaxias SO están preferentemente orientadas en forma perpendicular al eje mayor del cúmulo ( $P_1 = 87.6\%$ ).

c) Las galaxias espirales presentan un comportamiento bimodal. Su distribución de D.P.A. tiene dos máximos: uno en cero grados y otro en  $90^\circ$  ( $P_2 = 99.7\%$ ).

d) Todas las sistemáticas encontradas en los puntos a), b) y c) son más fuertes para las galaxias ubicadas en la región cercana al eje del cúmulo (Elípticas: región interna,  $P_1=92.1\%$ , región externa a  $P_1=80.3\%$ ; SO: región interna,  $P_1=99.2\%$ , región externa  $P_1=42.5\%$ ; Espirales: región interna,  $P_2=99.9\%$ , región externa,  $P_2=72.8\%$ ).

e) En las galaxias elípticas y espirales los efectos son más importantes para las galaxias más brillantes (Elípticas brillantes:  $P_1=98.0\%$ ; Elípticas débiles:  $P_1=56.6\%$ ; Espirales brillantes:  $P_2=99.8\%$ ; Espirales débiles:  $P_2=74.9\%$ ).

TABLA 2

	D. P. A.						$P_1$ (%)	$P_2$ (%)
	$0^\circ-15^\circ$	$16^\circ-30^\circ$	$31^\circ-45^\circ$	$46^\circ-60^\circ$	$61^\circ-75^\circ$	$76^\circ-90^\circ$		
Elípticas	14	8	9	5	7	5	96.7	59.8
SO	3	4	5	2	5	9	87.6	75.4
Espirales	36	20	17	18	16	29	73.8	99.7
Elípticas Región interna	7	4	6	3	2	3	92.1	14.8
Elípticas Región externa	7	4	3	2	5	2	80.3	65.8
SO Región interna	1	1	2	1	2	8	99.2	95.6
SO Región externa	2	3	3	1	3	1	42.5	19.9

TABLA 2 (cont.)

D. P. A.

	$0^{\circ}-15^{\circ}$	$16^{\circ}-30^{\circ}$	$31^{\circ}-45^{\circ}$	$46^{\circ}-60^{\circ}$	$61^{\circ}-75^{\circ}$	$76^{\circ}-90^{\circ}$	$P_1(Z)$	$P_2(Z)$
Espirales Región interna	20	11	9	6	9	18	51.2	99.9
Espirales Región externa	16	9	8	12	7	11	64.9	72.8
Elípticas Brillantes	10	3	4	3	3	2	98.0	76.4
Elípticas Débiles	4	5	5	2	4	3	56.6	0.0
SD Brillantes	1	1	3	2	2	3	67.2	13.8
SD Débiles	2	3	2	0	3	6	76.3	92.5
Espirales Brillantes	19	10	4	8	9	16	33.5	99.8
Espirales Débiles	17	11	13	9	7	13	80.2	74.9

Nosotros concluimos que las propiedades sistemáticas encontradas difícilmente puedan ser de origen aleatorio, debiendo haber alguna causa física que las origine.

Algunas propiedades de los cúmulos de galaxias, como por ejemplo la segregación de masa, sugiere que estos sistemas son dinámicamente evolucionados, pero aún no sabemos si la evolución dinámica es capaz de explicar las propiedades encontradas en este trabajo. Aparentemente, las acciones tidales en cúmulos no alcanzarían para cambiar sustancialmente la orientación de una galaxia en un "Tiempo de Hubble". En el caso de las galaxias elípticas, la captura de material intergaláctico en un potencial axi-simétrico como el de los cúmulos L podría justificar que las mismas tienden a estar orientadas paralelas al eje del cúmulo.

## REFERENCIAS

- Abell, G.O. 1958: Ap.J.Suppl. 3, 211
- Adams, M.T.; Strom, K.M. y Strom, S.E. 1980: Ap. J. 238, 445.
- Brown, F.G. 1964: M.N.R.A.S. 127, 517.
- Brown, F.G. 1968: M.N.R.A.S. 138, 527.
- Djorgovski, S. 1983: Ap.J. 274, L7.
- Hawley, D.L. y Peebles, P.J.E.: 1975: A.J. 80, 477.
- Rood, H.J. y Baum, W.A. 1967: A.J. 72, 398.
- Rood, H.J. y Sastry, G.N. 1971: P.A.S.P. 83, 313.
- Rood, H.J. y Sastry, G.N. 1972: A.J. 77, 451.
- Struble, M.F. y Rood, H.J. 1982: A.J. 87, 7.
- Thompson, L.A. 1976: Ap.J. 209, 22.