

NOTA PRELIMINAR SOBRE GALAXIAS AZULES CON LINEAS DE EMISION *

Guillermo Haro

Mediante el uso de la técnica fotográfica desarrollada en el Observatorio de Tonantzintla para el estudio de estrellas de tipo T Tauri con fuerte radiación ultravioleta,¹ hemos investigado algunas regiones lejanas al ecuador galáctico —particularmente cerca de los polos galácticos— con el fin de descubrir nuevas estrellas enanas blancas u objetos muy azules o ultravioletas semejantes a los descubiertos por Humason y Zwicky² en la región del polo norte galáctico. Tres exposiciones, ligeramente desplazadas la una de la otra, fueron sucesivamente hechas en cada placa (Eastman 103aD), bajo filtros que aislan regiones espectrales en el amarillo, el azul y el ultravioleta, respectivamente. La duración de las tres exposiciones se escogió de tal modo que una estrella no enrojecida y de tipo espectral A0, produjera imágenes aproximadamente de la misma densidad a través de cada uno de los filtros empleados. En la práctica, y tomando como referencia las estrellas A0-A5 contenidas en las áreas cubiertas, se encontró que en la mayoría de nuestras placas una estrella normal de tipo espectral A mostraba, sistemáticamente, la imagen amarilla con una densidad aproximadamente igual a la imagen azul, siendo las imágenes azul y amarilla ligeramente más brillantes que la imagen ultravioleta.

El mismo material fotográfico obtenido para el descubrimiento de estrellas azules, (los resultados preliminares a este respecto se publicarán por separado en un futuro próximo) sirvió para la identificación de un buen número de galaxias que muestran intensa radiación ultravioleta. En algunas de estas galaxias la relación de densidades en sus tres imágenes es comparable a la relación de densidades en las tres imágenes de estrellas de extremo color violeta, tales como ciertas enanas blancas o el núcleo de nebulosas planetarias.

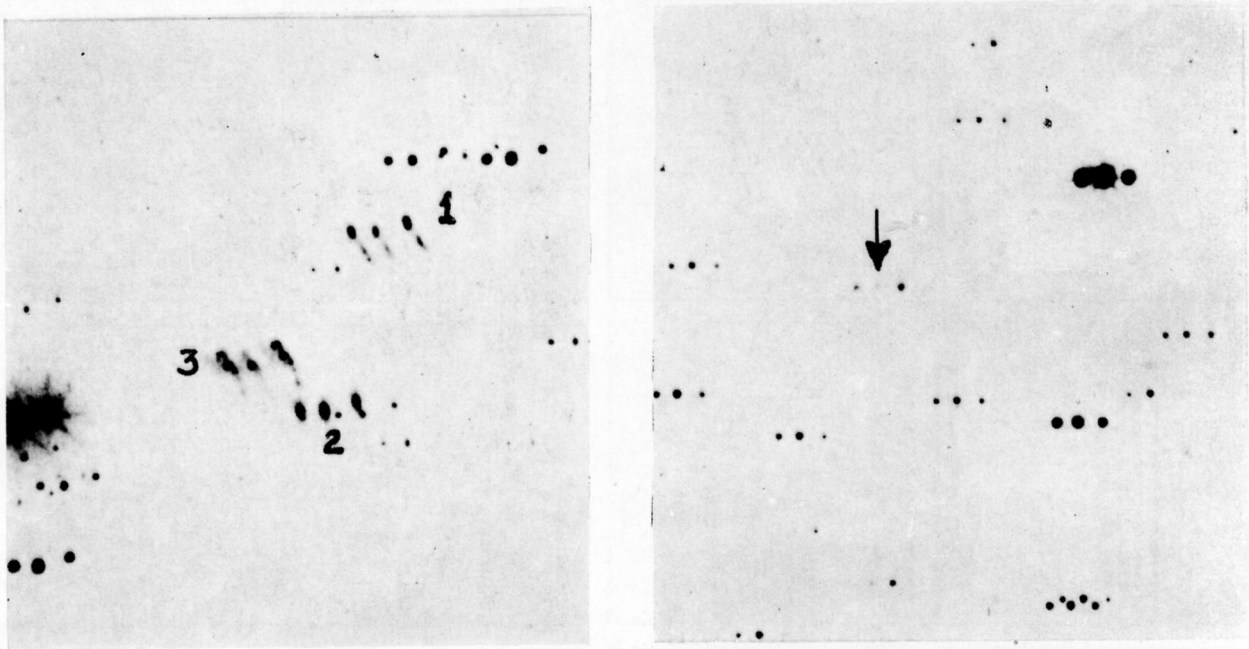


Figura 1. En estas fotografías en tres colores las galaxias señaladas con los números 1, 2, 3, son NGC 3991, 3994 y 3995, respectivamente. Cada una aparece (de derecha a izquierda) en luz ultravioleta, amarilla y azul. A la derecha del grabado se indican con una flecha las tres imágenes de la galaxia N° 4 de la Tabla I.

En un intento preliminar fueron seleccionadas aquellas galaxias que muestran en nuestras placas una aparente y pronunciada concentración de luz hacia el centro de sus imágenes y, además, una relación de color amarillo-ultravioleta equivalente a la de una estrella de tipo espectral B9 o más temprano. Fig. 1. En algunos casos, especialmente aquellos en que la galaxia presenta en nuestras placas una imagen semi-estelar, pudimos obtener buenos espectros con nuestro sistema cámara Schmidt-prisma objetivo, encontrando que los objetos nebulares con fuerte color ultravioleta muestran no solamente el

* Una síntesis de este trabajo fue presentada durante la reunión de la American Astronomical Society en Columbus, Ohio, Marzo de 1956.

doblete en emisión en $\lambda 3727$ [OII], sino además, otras líneas de emisión de más alta excitación. Fig. 2. El Dr. N. U. Mayall del Observatorio de Lick, a petición nuestra, amablemente obtuvo con el telescopio Crossley espectrogramas de 5 de nuestras galaxias, comprobando ampliamente nuestras observaciones de prisma objetivo.

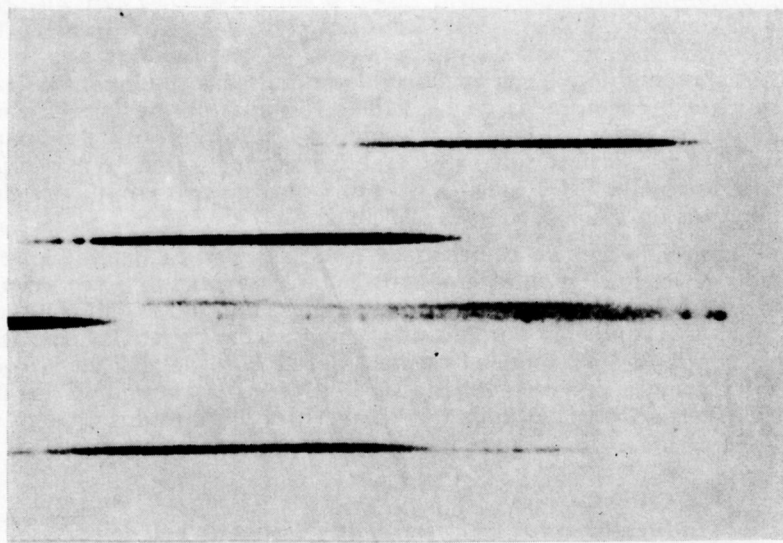


Figura 2. Espectro típico de una galaxia con fuerte color violeta. En el presente caso, se trata de NGC 5253 que muestra al igual que la mayoría de las galaxias de la Tabla I, además de la línea $\lambda 3727$ en emisión, otras líneas de más alta excitación.

TABLA I

Galaxias azules con líneas de emisión.

NºT (1)	NGC (2)	AR. (1855) (3)	Dec. (1855) (4)	Color (5)	Líneas de emisión observadas (6)	Instrumento (7)
1	2415	7 ^h 27 ^m 4	+35° 42'	violeta	H β , $\lambda 3727$	C.
2	Anon.	10 23.2	55 09	decid. violeta	N ₁ , N ₂ , H β , H γ , $\lambda 3727$	S.
3	3353	10 36.3	56 43	muy violeta	H α , N ₁ , N ₂ , H β , H γ , H δ , $\lambda 3727$	S.
4	Anon.	10 57.1	29 55	muy violeta	H α , N ₁ , N ₂ , H β , H γ , $\lambda 3727$	S.
5	3991a	11 50.0	33 09	muy violeta	N ₁ , N ₂ , H β , H γ , H δ , H ϵ , $\lambda 3869$, $\lambda 3727$	C. + S.
	b	— —	— —	decid. violeta	N ₁ , H β , H γ , $\lambda 3869$, $\lambda 3727$	C.
6	Anon.	12 08.0	6 35	muy violeta	H α , N ₁ , N ₂ , H β , H γ , H δ , H ϵ + Ne III?, H ζ , $\lambda 3869$, $\lambda 3727$,	C. + S.
7	4234	12 09.9	4 29	violeta	$\lambda 3727$	C.
8	Anon.	12 11.8	4 40	muy violeta	H α , N ₁ , N ₂ , H β , H γ , H δ , H ζ , $\lambda 3869$, $\lambda 3727$	C. + S.
9	4670	12 38.1	+27 55	muy violeta	H α , N ₁ , N ₂ , H β , H γ , H δ , $\lambda 3869$, $\lambda 3727$	S.
10	5253*	13 31.7	-30 54	decid. violeta	H α , N ₁ , N ₂ , H β , H γ , H δ , H ϵ , $\lambda 3869$, $\lambda 3727$	S.

* En NGC5253 algunos otros observadores han encontrado, anteriormente, características en emisión.

En la Tabla I se listan las galaxias con fuerte color ultravioleta y en las cuales se han observado líneas de emisión en sus espectros. En las diferentes columnas de esta tabla se anotan: 1) El número de

serie de Tonantzintla; 2) El número del NGC; 3) y 4) Las coordenadas para el equinoccio de 1855; 5) La clasificación cualitativa del color ultravioleta, dividida en tres clases: *violeta*, *decididamente violeta* y *muy violeta*, las galaxias clasificadas como *violeta* tienen una relación de densidad entre la imagen amarilla y ultravioleta semejante a la relación correspondiente en una estrella de tipo espectral B9V; 6) Las líneas en emisión identificadas en el espectro de la galaxia; 7) Con las letras *C* o *S* se indica que el espectro fue obtenido con el telescopio Crossley del Observatorio de Lick o con la cámara Schmidt de Tonantzintla, o con ambos instrumentos.

Las características en emisión de la mayoría de las galaxias contenidas en la Tabla I son similares a las emisiones nucleares encontradas en las galaxias listadas por Seyfert;³ sin embargo, existe una diferencia obvia por lo que se refiere al color integrado en los dos grupos de galaxias: las galaxias con emisiones nucleares listadas por Seyfert son considerable y sistemáticamente más rojas, algunas de ellas con índices de color del orden de +1.0 mag.; en tanto y que, las más conspicuas galaxias ultravioletas de la Tabla I tienen índices de color cercanos a 0.0 mag.

No carecerá de interés insistir en el hecho de que la presencia de líneas de emisión, la intensidad de ellas y su grado de excitación en el espectro de las galaxias, no están relacionados, necesariamente, con el color integrado en esos mismos objetos. En la Tabla II, se dan como ejemplos los índices de color de algunas galaxias estudiadas por Mayall⁴ y por Seyfert³ y en las que se han observado líneas de emisión. En la *columna* 1 se anota el número del NGC o del IC; en la *columna* 2 el tipo estructural de galaxia tal y como aparece en la lista de Pettit,⁵ en la *columna* 3 los índices de color determinados por el mismo Pettit y en la *columna* 4 las aberturas en minutos de arco usadas en las medidas fotoeléctricas.

TABLA II

Índices de color en galaxias con líneas de emisión

NGC I. C.	Tipo	I. C. (Pettit)	Ap	NGC I. C.	Tipo	I. C. (Pettit)	Ap
278	Scp	+0.66 0.58	0.3 2.3	3055	Sc	+0.56	2.4
613	Sb	0.74	2.3 x8.6	3077	Irr	0.78	2.3
864	Sbc	0.64 0.64 0.53	0.3 1.1 4.1	3227	Sb	0.79	1.8 .. x3.6
871	Sc	0.56	1.3	3310	Sb	0.31 0.26	0.7 2.3
1052	E3	0.96	2.3	3377	E6	0.76 0.87	2.3 4.1
1068	Sb	0.89 0.63 0.63	0.4 2.3 4.1	3516	SBO	1.15 0.83	0.3 2.3
1275	Sp	0.78	1.1	4258	Sb	0.75	4.1 x8.6
1C342	Sc	0.97 —	2.3 18.1	5548	Sa	0.51	2.4
1C391	Sb	0.15	2.3	6217	Sc	0.58	4.1
1961	Sb	0.76 0.71	2.3 4.1	6503	Sc	0.63	4.1
2146	Sap	0.79	5.7	6814	Sb	1.17 0.88 0.89	0.4 2.3 4.1
2268	Sc	1.05 0.69	0.3 4.1	7469	Sa	0.61	2.3
2389	Sc	0.40 0.48	1.3 2.3	7723	SBb	0.71 0.59 0.66	0.4 2.3 4.1
2748	Sb	0.73	2.3	7742	Sb	0.67 0.69	1.1 2.3
2782	Sa	0.65	2.3	7769	Sc	0.93 0.52	0.4 1.1
3031	Sb	1.05 0.98	0.3 8.6				

Aunque es evidente que en lo general el índice de color no está relacionado necesariamente con la aparición de líneas brillantes, parece ser que siempre y el color de una galaxia es conspicuamente azul o ultravioleta aparecen en sus espectros líneas de emisión, sin que esto nos lleve a pensar que el color de esos objetos sea determinado, fundamentalmente, por la contribución de las líneas brillantes. Por lo anterior, podemos afirmar que no obstante que la técnica de fotografía en tres colores desarrollada con nuestra cámara Schmidt es insuficiente para señalar inequívocamente todos los casos de galaxias con líneas de emisión, sí constituye un poderoso y eficaz método de observación que puede ser de gran valor en el estudio estadístico de galaxias con líneas brillantes y fuerte color ultravioleta y azul.

Como resultado preliminar de nuestras observaciones en tres colores —además de las galaxias contenidas en la Tabla I y en las cuales se han observado algunas características espectroscópicas— presentamos en la Tabla III una lista de objetos nebulares con fuerte color violeta. En la *columna* 1 se anota el número de serie de Tonantzintla; en la *columna* 2 el número del NGC o del IC; en las *columnas* 3 y 4 las coordenadas aproximadas para 1855; en la *columna* 5 la clasificación cualitativa del color ultravioleta en forma similar a la empleada en la Tabla I. Muy probablemente la gran mayoría, si no la totalidad, de los objetos listados en la Tabla III se caracterizan por la presencia de líneas brillantes en sus espectros.

TABLA III

Galaxias de color violeta

Nº T	NGC I. C.	A. R. (1855)	Dec. (1855)	Color	Nº T	NGC I. C.	A. R. (1855)	Dec. (1855)	Color
11	Anon.	0 ^h 30. ^m 0	-34°22'	Muy violeta	28	4218	12 ^h 8. ^m 6	+49°02'	Violeta
12	Anon.	0 31.7	21 54	Decid. violeta	29	Anon.	12 19.1	49 16	Muy violeta
13	Anon.	0 31.9	21 51	Violeta	30	IC 3600	12 30.4	27 55	Muy violeta
14	244	0 38.5	16 22	Decid. violeta	31	Anon.	12 33.8	28 45	Violeta
15	263?	0 41.2	13 34	Muy violeta	32	Anon.	12 37.1	55 42	Decid. violeta
16	Anon.	1 42.9	28 27	Muy violeta	33	Anon.	12 37.3	29 16	Decid. violeta
17	Anon.	1 43.2	28 32	Decid. violeta	34	Anon.	12 37.9	21 57	Violeta
18	Anon.	2 32.7	28 03	Violeta	35	Anon.	12 40.1	28 35	Muy violeta
19	Anon. a b	2 58.6	28 05	a - Violeta b - Violeta	36	Anon.	12 40.3	52 23	Violeta
20	Anon.	3 21.5	17 53	Decid. violeta	37	Anon.	12 41.7	35 16	Violeta
21	1345	3 22.9	-18°17'	Decid. violeta	38	Anon.	13 28.9	29 58	Muy violeta
22	Anon.	9 41.9	+28°39'	Decid. violeta	39	Anon.	13 51.7	26 15	Decid. violeta
23	Anon.	9 58.0	29 38	Decid. violeta	40	Anon.	14 2.8	27 03	Decid. violeta
24	Anon.	10 20.0	20 14	Decid. violeta	41	Anon.	14 22.0	27 55	Violeta
25	Anon.	10 40.7	26 48	Violeta	42	Anon.	14 24.7	27 53	Muy violeta
26	3510	10 55.8	29 40	Violeta	43	Anon.	14 29.8	29 05	Decid. violeta
27	Anon.	11 32.7	29 11	Violeta	44	Anon.	14 37.0	28 55	Violeta

Comparando la relación de densidades de las imágenes en tres colores en los objetos contenidos en las Tablas I y III, con las respectivas relaciones de densidad en las imágenes de galaxias medidas fotoeléctricamente por Stebbins y Whitford⁶ y por Pettit,⁵ podemos concluir que las galaxias listadas en

TABLA IV

*Galaxias de comparación medidas por Stebbins
y Whitford, y por Pettit*

NGC I. C.	Tipo	I. C.
4449	Irr	+0.23
4490	Sc	0.27
Anon.	Pec.	0.09
IC 391	Sb	0.15
2139	SBc	0.09
3310	Sb	0.26

el presente trabajo y que aparecen señaladas con un color *decididamente violeta* o *muy violeta*, son objetos por lo menos tan azules como las más azules galaxias medidas por los autores indicados. En la Tabla IV se listan las galaxias medidas por Stebbins y Whitford y por Pettit, que nos han servido como "standard" en nuestra comparación.

No obstante que la pequeña escala en nuestras placas y la débil magnitud fotográfica de la mayoría de las galaxias contenidas en las Tablas I y III (todos estos objetos están comprendidos entre las magnitudes fotográficas 11 a la 16) hacen extremadamente difícil la clasificación dentro de la secuencia estructural de Hubble,⁷ no resulta poco realista suponer que en este grupo de objetos nebulares estén comprendidas diferentes clases morfológicas, por lo menos diferentes tipos de espirales y, a la vez, galaxias irregulares. La verdadera morfología y el correspondiente tipo nebular sólo se podrán determinar mediante el estudio de fotografías de más grande escala.

Desde luego, no nos debe extrañar que existan por lo menos galaxias S0, Sa, Sb y Sc con un fuerte color azul y ultravioleta, puesto que es bien conocida la gran dispersión en el índice de color para estos particulares tipos estructurales de galaxias. Si tomamos a guisa de ejemplo a las galaxias Sb, encontraremos que dentro de este mismo tipo morfológico existen objetos muy rojos y objetos considerablemente azules. Las medidas fotoeléctricas de galaxias clasificadas por Hubble⁵ como Sb, nos muestran una dispersión en los índices de color del orden de 1.0 mag. En la Fig. 3 se da el diagrama índice de color -magnitud fotográfica, para las galaxias Sb medidas fotoeléctricamente por Pettit.⁵ Una dispersión semejante a la contenida en la Fig. 3 se advierte, de acuerdo con Pettit y otros observadores, en las galaxias de tipo Irr y Sc, y aún mayor dispersión se encuentra para las galaxias de tipo SB; siendo plausible prever que nuevos datos de observación vendrán a aumentar, y no a disminuir, el valor de la dispersión en el índice de color de los diferentes tipos estructurales de galaxias.

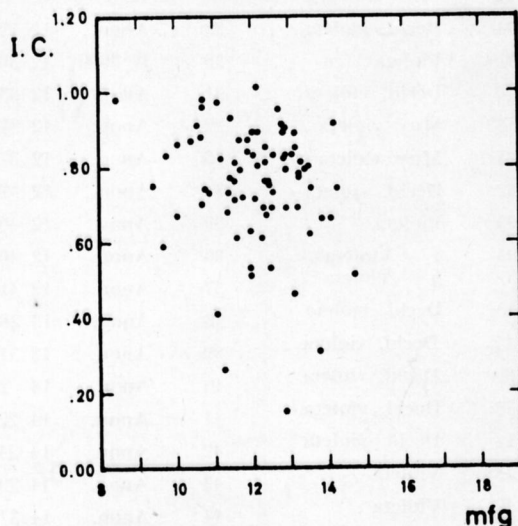


Figura 3. Relación magnitud fotográfica-índice de color para las galaxias Sb medidas fotoeléctricamente por Pettit.

La secuencia nebular de Hubble como secuencia evolutiva.

En lo general, se advierte entre algunos astrónomos la tendencia —basada fundamentalmente en consideraciones dinámicas— a interpretar la secuencia estructural de Hubble como una simple y directa secuencia evolutiva. Son bien conocidas las sugerencias en el sentido de una progresión evolutiva que va de las galaxias esferoidales a las espirales abiertas o, de acuerdo con Shapley,⁸ von Weizsäcker⁹ y otros, una serie evolutiva de sentido contrario. En este segundo caso, las consideraciones dinámicas encuentran apoyo aparente en la naturaleza de las poblaciones estelares, las galaxias cambian de una estructura morfológica a otra mostrando, a la vez, diferentes mezclas de población estelar I y II: de las galaxias Irr se llega a las galaxias elípticas, pasando por las Sc, Sb, Sa y S0. Pero, ante esta tendencia, surge una nueva serie de datos que introducen serias dudas respecto a la simplista interpretación evolutiva de la secuencia nebular de Hubble. Tomemos para ilustrar la anterior afirmación al grupo de galaxias clasificadas según Hubble como Sb. El prominente núcleo de estas galaxias, dice Baade,¹⁰ está formado de población II y el índice de color fotoeléctrico para la parte central es igual a $+ 0.92 \pm 0.02$. De acuerdo con Stebbins y Whitford,⁶ las galaxias de tipo E, S0, Sa y Sb tienen en promedio el mismo índice de color, $+ 0.85$ mag., en la escala internacional; las Sc son más azules, con índice de co-

lor $C_p = + 0.47$ mag. Según el mismo Baade, para sistemas en que la población I domina, el índice de color integrado es $+ 0.45 \pm 0.04$, aproximadamente la mitad del valor correspondiente a los sistemas de población II; por lo tanto, se podría concluir, siempre y que el color integrado de una galaxia sea igual o menor que $+ 0.45 \pm 0.04$, la población I dominará. Ahora bien, no obstante lo limitado de las medidas fotoeléctricas en la determinación de colores en las galaxias, se conocen unos cuantos ejemplos de nebulosas Sb, Sa y SO en las que el índice de color indica una predominancia de la población I. En la Tabla V se listan algunas galaxias Sb —o más tempranas— que según Pettit⁵ tienen índices de color iguales o menores que $+ 0.49$. Obviamente estas galaxias, no obstante su tipo estructural, de acuerdo con el criterio establecido por Baade, están compuestas predominantemente por población I.

TABLA V

Galaxias Sb, Sa y SO con índices de color $\leq + 0.49^$*

NGC IC	Tipo	I. C. (Pettit)	Ap.
IC 391	Sb	+0.15	2.3
2744	Sb	+0.31	2.3
3310	Sb	+0.31	0.7
		+0.26	2.3
3611	Sa	+0.47	2.4
7679	SO	+0.47	1.1

* En esta tableta se han excluido las galaxias Sb que muestran colores > 0.49 con Ap menores, aunque con Ap mayores sean < 0.49 .

Se podrían dar tres posibles argumentos en contra de la significancia de las galaxias contenidas en la Tabla V: a) Que son galaxias erróneamente clasificadas y que sus reales tipos morfológicos corresponden a tipos nebulares Sc o Irr; b) Que sus índices de color están mal determinados; c) Que son casos "peculiares" y de insignificante baja frecuencia. Tentativamente, se puede contestar a estos argumentos en el mismo orden: a) Estas galaxias han sido clasificadas en placas de gran escala, en el Observatorio mejor dotado instrumentalmente en el mundo y por un astrónomo de grande experiencia; b) Las mediciones de Pettit parecen tener una gran consistencia interna y se han comparado satisfactoriamente con otras mediciones independientes; c) El argumento de la "peculiaridad" y de la baja frecuencia, puede ser más bien un argumento en pro que en contra, puesto que eso es precisamente lo que se busca: casos aparentemente "peculiares" que nos ayuden a interpretar más realísticamente un complejo fenómeno natural. Sin duda alguna las observaciones futuras —utilizando resultados preliminares como son los obtenidos con nuestra cámara Schmidt— acrecentarán el número de este tipo de objetos raros.

No puede ser menos que significativa la extraordinaria variedad en las características que encontramos entre distintos individuos pertenecientes a un mismo tipo morfológico de galaxia. Tomando nuevamente como ejemplo a las galaxias Sb encontraremos: a) Objetos con colores integrados o muy rojos o muy azules, e indudables ejemplares intermedios; b) Objetos con tipos espectrales A y objetos con tipos espectrales G, e intermedios;¹² c) Objetos con un intenso continuo ultravioleta y líneas de emisión de variados grados de excitación; d) Objetos rojos con o sin líneas de emisión; e) Objetos donde aparentemente domina la población I y objetos en donde la población II es la predominante; etc. A este respecto resultan de enorme interés las observaciones analíticas de Zwicky.¹¹ "De hecho —dice Zwicky— las galaxias que en una fotografía directa aparecen con estructura idéntica, pueden resultar completamente diferentes cuando son analizadas mediante fotografías compuestas".

Una representación más realista de un posible camino evolutivo en las galaxias, tendrá necesariamente que tomar en cuenta no sólo la estructura morfológica, sino también otros parámetros de indudable significancia, como son: el color, las características espectrales, la distribución y proporcionalidad de las distintas poblaciones estelares, etc.

Sólo como una preliminar representación —necesariamente simplificada y provisional debido a los muy limitados datos observacionales— en la Fig. 4 se relacionan, diagramáticamente, galaxias de distintos tipos estructurales y sus índices de color; a la vez, en forma aproximada se señalan, a uno y otro lado de la línea punteada correspondiente a $I. C. = + 0.49$, las regiones de predominancia de las poblaciones I y II y, además, la línea que indica de acuerdo con los datos empleados, el índice de color promedio para cada tipo morfológico. En la Tabla VI se anotan los índices de color promedio para cada tipo nebuloso.

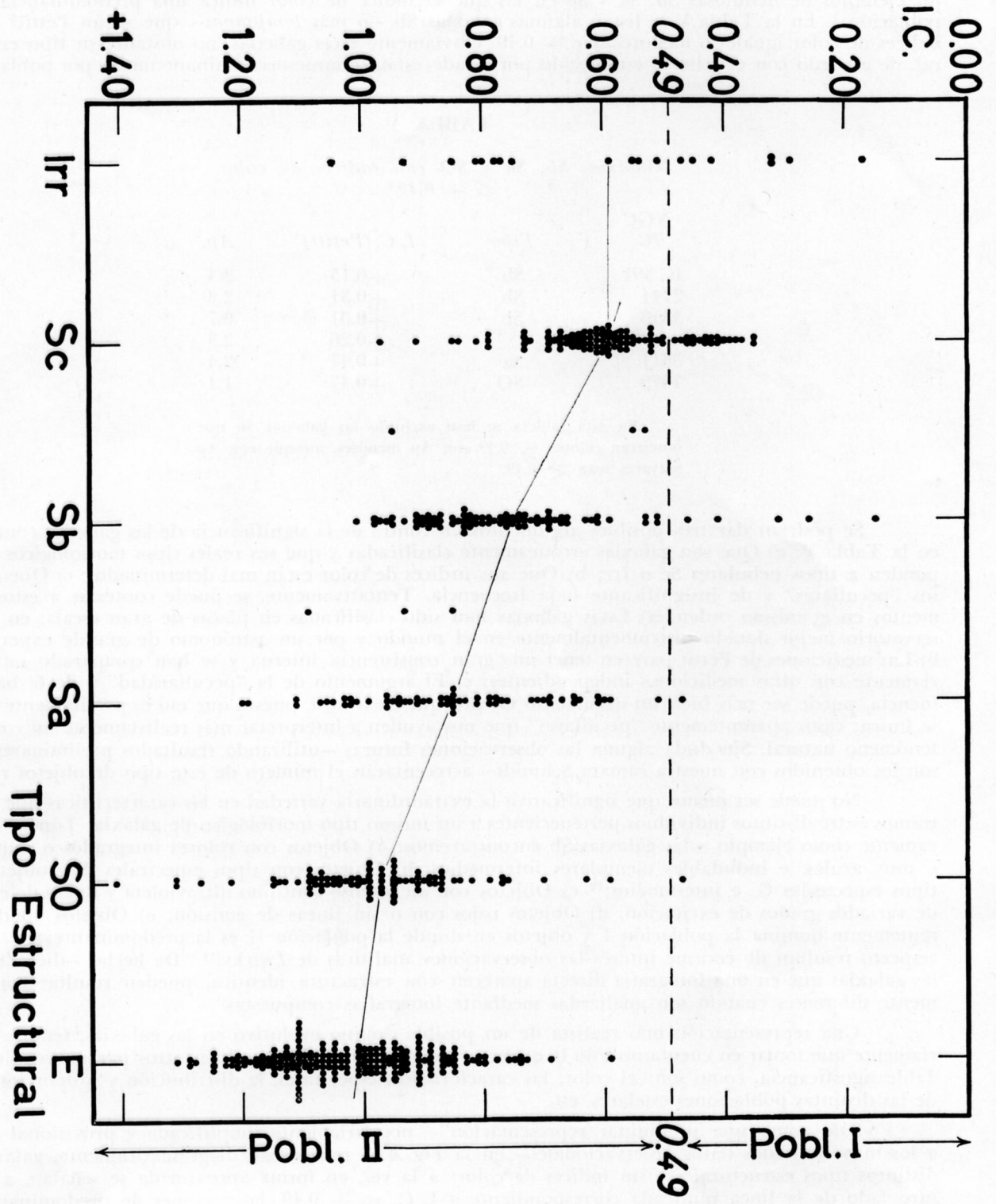


Figura 4. Relación entre el tipo estructural de las galaxias y sus índices de color. Los datos sobre los índices de color fotométricos se han tomado del trabajo de Pettit. En el presente diagrama la línea horizontal y punteada correspondiente a $I. C. = 0.49$ señala, en forma aproximada, las regiones de predominancia de las poblaciones I y II. La línea inclinada indica los índices de color prometido para cada tipo morfológico. Un diagrama similar se podría dibujar usando los tipos espectrales en lugar de los índices de color.

TABLA VI
Indices de Color promedios

<i>Tipo</i>	<i>I. C. (Pettit)</i>	<i>n</i>
Irr	+0.59	19
Sc	0.59	96
Sb	0.75	79
Sa	0.85	59
S0	0.97	80
E	1.01	180

El examen del diagrama de la Fig. 4 y de la Tabla VI nos evidencia dos datos observacionales de gran interés: a) Galaxias de muy diferentes tipos morfológicos, consideradas individualmente, muestran colores iguales: rojos, azules o intermedios; b) El índice de color promedio, en la muestra empleada, es creciente de las galaxias Irr y Sc a las E.

Si aceptamos con Baade que el índice de color integrado en una galaxia es un buen indicador de la población estelar dominante y si además reconocemos que la población I representa un estado de mayor juventud que la población II, al examinar el diagrama de la Fig. 4 advertiremos: 1) Que dentro de un mismo tipo morfológico de galaxia se dan muy diversas edades: predominancia de población I o predominancia de población II, y mezclas intermedias; 2) Que si seguimos la línea de índice de color + 0.49, o líneas paralelas, encontraremos galaxias muy diferentes morfológicamente pero de la misma edad: con la misma proporcionalidad en la mezcla de poblaciones I y II; 3) Que si seguimos la línea de índices de color promedios, o líneas aproximadamente paralelas, las edades crecen de las galaxias Irr y Sc hacia las E; esto es, el porcentaje de población I decrecerá continuamente si se va de las Irr y Sc a las E y el porcentaje de población II crecerá en el mismo sentido; 4) Que existen por lo menos algunas galaxias Sb, Sa y S0 más jóvenes que la mayoría de las galaxias Irr o Sc, esto es, la predominancia de población I en las primeras es mayor que en las segundas.

Podremos ahora explicarnos porqué resulta altamente probable encontrar, en nuestro estudio de las galaxias, cierta aparentemente dominante dirección evolutiva. Todo dependerá de la línea seguida en nuestro diagrama, o en otras palabras, todo dependerá de una selección observacional. Quienes sigan la línea correspondiente a los índices de color promedios, indudablemente encontrarán que la secuencia nebulosa de Hubble parece ser una simple y directa progresión evolutiva: de las galaxias más jóvenes, Irr y Sc, a las más viejas, S0 y E. Pero ¿qué tan significativa e imprescindible, en el sentido evolutivo, es esta selección observacional?

Parece obvio que, considerada la Fig. 4 como un diagrama de significado evolutivo, se nos presentan tres alternativas de interpretación: 1) La secuencia nebulosa de Hubble es una simple y directa progresión evolutiva; 2) Para cada tipo estructural de galaxias se da un propio y específico proceso evolutivo en donde las condiciones iniciales de formación determinarán el tipo morfológico dentro del cual la población estelar irá a su vez evolucionando; 3) El proceso evolutivo en las galaxias responde a una cierta combinación de elementos de la alternativa 2) con elementos de la alternativa 1).

Futuras observaciones de los colores y espectros de un mayor número de galaxias, junto con el estudio en fotografías de gran escala de la morfología de las mismas, podrán permitirnos la construcción de un diagrama más exhaustivamente representativo.

Deseo expresar mi agradecimiento al Dr. N. U. Mayall por su amable cooperación al obtener espectrogramas de cinco de las galaxias presentadas en este trabajo y a los Sres. Braulio Iriarte y Enrique Chavira por las placas obtenidas con nuestra cámara Schmidt.

R E F E R E N C I A S

1. G. Haro y G. H. Herbig, Boletín Obs. Tonantzintla y Tacubaya N° 12, Pág. 33, Junio 1955.
2. M. L. Humason and F. Swicky, Ap. J., 105, 85, 1947.
3. C. K. Seyfert, Ap. J., 97, 28, 1943.
4. N. U. Mayall, Lick Obs. Bull., 19, 33, 1939.
5. E. Pettit, Ap. J., 120, 413, 1954. Todas las referencias que se hacen del trabajo de Pettit están basadas en la publicación anotada.
6. J. Stebbins and A. E. Whitford, Ap. J., 115, 284, 1952.
7. E. Hubble. The Realm of the Nebulae. Yale University Press, 1938.
8. H. Shapley. Pub. Observatory University of Michigan, Vol. X, Pág. 79, 1951.
9. C. F. von Weizsäcker. Ap. J., 114, 165, 1951.

10. W. Baade. Pub. Observatory University of Michigan, Vol. X, Pág. 7, 1951.
11. F. Zwicky. Pub. A. S. P. 67, 232, 1955.
12. Cuando el presente trabajo estaba en la imprenta, apareció el artículo de M. L. Humason, N. U. Mayall y A. R. Sandage "Redshifts and magnitudes of extragalactic Nebulae", A. J. 61, 97, 1956, de él tomamos los datos sobre la dispersión en los tipos espectrales para las galaxias Sb; es además interesante señalar que nuestro diagrama de la Fig. 4 se hizo con total independencia y sin conocer el diagrama **tipos espectrales — tipo nebular** que publican los autores mencionados en su Fig. 2. Fundamentalmente, este último diagrama se podía interpretar en la misma forma que el nuestro en la Fig. 4 y creemos que viene a reforzar nuestras propias consideraciones.

PRELIMINARY NOTE ON BLUE GALAXIES WITH EMISSION LINES

Using the same photographic technique as the one employed at the Tonantzintla Observatory for the study of T Tauri stars with strong ultraviolet radiation,¹ we have surveyed some regions far from the galactic equator and in particular close to the galactic poles, in a search for white dwarf stars or very blue or ultraviolet objects of the kind discovered by Humason and Zwicky² in the region of the north galactic pole. Three exposures, slightly displaced from one another, were made successively on each plate (Eastman 103aD) behind filters that isolate spectral regions in the ultraviolet, blue and yellow, respectively. The lengths of the three exposures were chosen so that a not reddened star of spectral type AO would produce an image of approximately the same density through each of the filters. In practice, however, and taking as reference the AO-A5 stars which happened to fall in the different areas covered, it was found that on our plates a normal star of type A generally shows a yellow image of approximately equal density as the blue one, but both the blue and yellow images appear brighter than the ultraviolet.

The same photographic material obtained for the discovery of blue stars, (the preliminary results in this respect will be published separately in the near future) served to identify a good number of galaxies which show intense ultraviolet radiation. In some of these galaxies the density relation in their three images is comparable to the density relation in the three images of stars of extremely violet colour, such as certain white dwarfs or the nuclei of planetary nebulae.

In a preliminary attempt, those galaxies were chosen which show on our plates an evident and pronounced light concentration towards the centre of their images and, further, a colour relation equivalent to that of a star of spectral type B9 or earlier. Fig. 1. In some cases, especially those where the galaxies present on our plates a semi-stellar image, we could obtain fairly good spectra with our Schmidt-objective prism system, finding out that some of the nebular objects with strong ultraviolet colour do not only show the doublet in emission at $\lambda 3727$ [OII] but also other emission lines of higher excitation. Fig. 2. At our request, Dr. Mayall of the Lick Observatory kindly obtained spectrogrammes of five of our galaxies with the Crossley telescope, which amply confirmed our objective-prism observations. Galaxies with a strong ultraviolet colour, in which emission lines in their spectra have been observed, are listed in Table I. The different columns of this table contain: 1) The Tonantzintla serial number; 2) The NGC number; 3) and 4) the coordinates for the 1855 equinox; 5) The qualitative classification of the ultraviolet colour, divided into three classes: *violet*, *decidedly violet* and *very violet*; galaxies classified as *violet* have a density relation between the yellow and ultraviolet images similar to the corresponding relation in a star of spectral type B9V; 6) The emission lines identified in the galaxy spectrum; 7) Letters C or S indicate that the spectrum was obtained with the Crossley telescope of the Lick Observatory or with the Tonantzintla Schmidt camera, or with both instruments.

The emission features of the majority of the galaxies contained in Table I are similar to the nuclear emission found in the galaxies listed by Seyfert;³ however, there is an obvious difference as regards the integrated colour in the two groups of galaxies; the galaxies with nuclear emissions listed by Seyfert are considerably and systematically redder, some of them with colour indices of the order of $+1.0$ mag.; whereas the most conspicuous ultraviolet galaxies of Table I have colour indices of approximately 0.0 mag.

It is interesting to insist on the fact that the presence of emission lines, their intensity and their degree of excitation in the spectra of galaxies, are not necessarily related to the integrated colour in those same objects. Table II gives, as examples, the colour indices of some galaxies studied by Mayall¹ and by Seyfert,³ and in which emission lines have been observed. Column 1 indicates the NGC or the IC number; column 2, the structural type of the galaxy as it appears in Pettit's list;⁵ column 3, the colour indices determined by Pettit and, column 4, the apertures in minutes of arc used in the photoelectric measurements.

Although it is evident that, in general, the colour index is not necessarily related to the presence of bright lines, it seems that galaxies with conspicuous blue or ultraviolet colours always show emission lines in their spectra, without this making us state that the colour of those objects is fundamentally determined by the contribution of spectral bright lines. According to the foregoing we can expect that although the 3-colour photographic technique as developed with our Schmidt camera is insufficient unequivocally to point out all the cases of galaxies with emission lines, it will constitute a powerful and effective observational method that may be of great value in the statistical study of galaxies with bright lines and strong ultraviolet and blue colours.

As a preliminary result of our 3-colour observations — besides the galaxies contained in Table I and in which some spectroscopic characteristics have been observed — in Table III a list of galaxies with strong violet colour is presented. Column 1 indicates the Tonantzintla serial number; column 2, the NGC or the IC number; columns 3 and 4, the approximate coordinates for 1855; column 5, the qualitative classification of the ultraviolet colour in a similar manner to that used in Table I. Most probably, the great majority — if not all — of the objects listed in Table III are characterized by the presence of bright lines in their spectra.

Comparing the density relation of the 3-colour images in the objects contained in Tables I and III with the respective density relations in the images of galaxies measured photoelectrically by Stebbins and Whitford,⁶ and by Pettit,⁵ we may arrive at the conclusion that the galaxies listed in the present work and which appear marked as *decidedly violet* or *very violet*, are objects at least as blue as the bluest galaxies measured by the mentioned authors. Table IV lists the galaxies measured by Stebbins and Whitford, and by Pettit, which have been used as standards in our comparison.

Although the small scale in our plates and the faint photographic magnitude of the majority of the galaxies contained in Tables I and III (all these objects are within photographic magnitudes 11 to 16) make the classification within Hubble's structural sequence extremely difficult, it is not unrealistic to suppose that different morphological types are comprised in this group of nebular objects, at least different spiral types and, at the same time, irregular galaxies.

The real morphology and the corresponding nebular type can only be determined by the study of photographs of greater scale.

Naturally, it should not seem strange that there may exist at least SO, Sa, Sb and Sc galaxies with strong blue and ultraviolet colour, because it is well known that there is a great dispersion in the colour index within these particular structural types of galaxies. If we take as an example the Sb galaxies, we will find that within this same morphological type there exist very red objects and notably blue ones. The photoelectric measurements of galaxies classified by Hubble² as Sb show a dispersion in the colour index of the order of 1.0 mag. Figure 3 gives the plot of colour index against magnitude for the Sb galaxies measured photoelectrically by Pettit.

According to Pettit and other observers, a dispersion similar to that contained in Fig. 3 is observed in galaxies of the Irr and Sc types, and an even greater dispersion is found for galaxies of the SB type. It is plausible to suppose that new observational data will increase and not decrease the dispersion value in the colour index of the different structural types of galaxies.

The Hubble nebular sequence as an evolutionary series

A tendency is widely spread amongst some astronomers—fundamentally based on dynamical considerations—to interpret Hubble's structural sequence as a simple and direct evolutionary sequence. Well known are the suggestions in the sense of an evolutionary progression which goes from spheroidal galaxies to the open spirals or, in accordance with Shapley,⁵ von Weizsäcker⁶ and others, an evolutionary series of opposite direction. In the latter case, the dynamical considerations are apparently supported by the nature of the stellar populations, galaxies change from one morphological structure to another and show, at the same time, different mixtures of stellar population I and II: from galaxies Irr to elliptical galaxies, passing through the Sc, Sb, Sa and SO. But, with respect to this tendency, new information now available introduces serious doubts as to the very simple evolutionary interpretation of Hubble's nebular sequence. To illustrate the above statement, let us take the group of galaxies classified, according to Hubble, as Sb. The prominent nucleus of these galaxies—Baade says—is composed dominantly of population II and the photoelectric colour index for the central part is equal to 0.92 ± 0.02 .¹⁰ In accordance with Stebbins and Whitford,⁹ galaxies of type E, SO, Sa and Sb average about the same colour index, $+ 0.85$ mag. in the international scale; the Sc's are bluer, with colour index $C_p = + 0.47$ mag. According to Baade,¹⁰ the integrated colour index for systems in which population I dominates is $+ 0.45 \pm 0.04$, approximately half of the value corresponding to systems of population II; therefore, providing that the integrated colour of a galaxy be $\leq + 0.45$, ± 0.04 , population I will dominate. Now, however limited the new data on the photoelectric colours of galaxies may be, several examples of Sb, Sa and SO nebulae are known in which the colour index indicates a predominance of population I. In Table V galaxies Sb—or earlier—are listed, which, according to Pettit, have colour indices $\leq + 0.49$. Obviously these galaxies, notwithstanding their structural type, according to Baade's criterion are dominantly composed of population I.

Three arguments could be given against the significance of the galaxies contained in Table V: a) That they are galaxies erroneously classified and that their real morphological types correspond to nebular types Sc or Irr; b) that their colour indices are badly determined; c) that they are "peculiar" cases and of insignificantly low frequency. Tentatively, these arguments can be answered in the same order: a) These galaxies have been classified in large scale plates in an Observatory which, instrumentally, is the best equipped in the world, and by an astronomer of great experience; b) Pettit's measurements seem to have good internal consistence and have been satisfactorily compared with other independent measurements; c) the argument of the "peculiarity" and low frequency may rather be an argument in pro and not in con, as this is precisely what is being sought: apparently "peculiar" cases which may help us to interpret realistically a complex natural phenomenon. Undoubtedly, future observations—utilizing preliminary results such as those obtained with our Schmidt camera—will increase the number of this type of rare objects.

The extraordinary variety in the characteristics which we find amongst different individuals belonging to a same morphological type of galaxies cannot but be significant. Again taking galaxies Sb as an example, we find: a) Objects with very red or blue integrated colours, and undoubtedly also intermediate specimens; b) Objects with spectral types A and objects with late G types, and also intermediate spectra¹²; c) Objects with an intense ultraviolet continuum and emission lines of varied degrees of excitation; d) Red objects with or without emission lines; e) Objects where apparently population I dominates and objects where population II is predominant; etc. In this respect, Zwicky's¹¹ analytic observations are of extreme interest. "Actually", states Zwicky, "galaxies which on simple direct photographs appear to be structurally identical, may prove to be quite different when they are analyzed with the aid of composite photography".

A sounder representation of a possible evolutionary trajectory of the galaxies will necessarily have to consider, not only the morphological structure, but also other parameters of indubitable significance, as: the colour, the spectral characteristics, the distribution and proportionality of the different stellar populations, etc.

Only as a preliminar representation—necessarily simplified and provisional owing to the very limited observational information—Fig. 4 relates, diagrammatically, galaxies of different structural types and their colour indices; at the same time, at either side of the dashed line corresponding to $C. I. = + 0.49$, the regions where populations I and II predominate are indicated in an approximate manner; besides, the line which shows, in accordance with the information used, the average colour index for each morphological type. In Table VI are listed the average colour indices for each nebular type.

The examination of the diagramme of Fig. 4 and of Table VI evidences two observational data of great interest: a) Galaxies of very different morphological types, considered individually, show the same colours: red, blue or intermediate; b) In the sample used, the average colour index increases from the Irr and Sc galaxies to the E galaxies.

If we accept Baade's suggestion that the integrated colour index in a galaxy is a good indicator of the dominant stellar population and if we further recognize that population I represents a younger stage than population II, when examining the diagramme of Fig. 4 we will record: 1) that within one and the same morphological type of galaxies very different ages are found: predominance of population I or predominance of population II, and intermediate mixtures; 2) That if we follow the colour index line $+ 0.49$, or parallel lines, we find galaxies which are very different morphologically but of the same age: with the same proportionality in the mixture of populations I and II; 3) That if we follow the average colour indices line, or approximate parallel lines, ages grow from galaxies Irr and Sc towards E galaxies; that is, the percentage of population I will continuously decrease if we go from the Irr and Sc to the E, and the percentage of population II will increase in the same direction; 4) That there exist, at least, some Sb, Sa and SO galaxies younger than the majority of the Irr or Sc galaxies, that is, predominance of population I in the first is greater than in the latter.

We can now explain why it seems highly probable that in our study of galaxies an apparently dominating evolutionary direction be found. All will depend on the line followed in our diagramme or, in other words, all will depend on the observational selection. Those who follow the line corresponding to the average colour indices will undoubtedly

find that Hubble's nebular sequence seems to be a simple and direct evolutionary progression: from the younger galaxies, Irr and Sc, to the older, SO and E. But how significant and essential is this observational selection in the evolutive sense?

It seems obvious that, if we consider Fig. 4 as a diagramme of evolutionary significance, three alternative interpretations could arise: 1) Hubble's nebular sequence is a simple and direct evolutionary progression; 2) For each structural type of galaxies there is a proper and specific evolutionary process where the initial conditions of formation will determine the morphological type within which the stellar population will, at the same time, evolve; 3) The evolutionary process in galaxies may be represented by a certain combination of elements of alternative 2) with elements of alternative 1).

Future observations of the colour and spectra of a greater number of galaxies together with the study, in photographs of great scale, of their morphology, will permit us to draw a much more representative diagramme.

I wish to express my gratitude to Dr. N. U. Mayall for his kind cooperation in obtaining spectrogrammes of five of the galaxies presented in this work, and to Messrs. Braulio Iriarte and Enrique Chavira for the plates obtained with our Schmidt camera.