

Estudio de Morfología y Color de Galaxias con SDSS

Autor: **Bustillos Federico**

Abstract

Se realiza un estudio fotométrico de morfología y color de una muestra completa en volumen de 13000 galaxias del relevamiento SDSS. Para el estudio se analizan las distribuciones y diagrama de Color Magnitud, índice de concentración, peso de la componente de de Vaucouleurs y correlaciones existentes entre los parámetros magnitud color $u-r$ e índice de concentración c . También se estudia el tamaño de las galaxias utilizando las magnitudes y el radio petrosino. Como resultado de este análisis se encuentra que el diagrama color magnitud segrega a las galaxias en dos poblaciones marcadas, secuencia roja y nube azul. Se puede delimitar una frontera en el espacio $u-r$ entre ambas poblaciones en el valor aproximado de $u-r=2.1$. El índice de concentración también permite delimitar una frontera entre los tipos de morfología Early Type y Late Type en un valor de $C=2.5$. La combinación de estas dos fronteras permite segregar también a las galaxias según la morfología en el espacio $u-r$, C . Finalmente son visibles las diferencias de tamaños entre galaxias segregadas como rojas Early Type vs Azules Late Type.

1 Clasificación de Galaxias

Historicamente la optica fotometrica es la que se ha utilizado para clasificar a las galaxias. Uno de los sistemas de clasificacion mas importantes es el de Hubble (Figura 1).

Esta clasificacion esta basada en morfologias vistas en el rango visual. La misma clasifica a las galaxias en cuatro categorias [4]:

- Galaxias elípticas: Con isofotas similares a una elipse y con una subclasificación de $E0, \dots, E7$ basada en su coeficiente de elipticidad ϵ .
- Galaxias espirales: Consistentes en discos delgados con una estructura de brazos en espiral. Se dividen en dos ramas: Espirales con barra y espirales normales. En cada una de estas ramas pueden a su vez sub dividirse segun:
 - Cociente bulbo disco: $L_{\text{bulge}}/L_{\text{disk}}$
 - Angulo creciente de los brazos espirales
 - Brillo incremental y creciente, a lo largo de los brazos espirales.
- Galaxias lenticulares, denominadas S0 consideradas como un intermedio entre las galaxias elípticas y espirales.
- Galaxias Irregulares. Consistentes en galaxias que no pueden ser resueltas en ningun tipo de las anteriores.

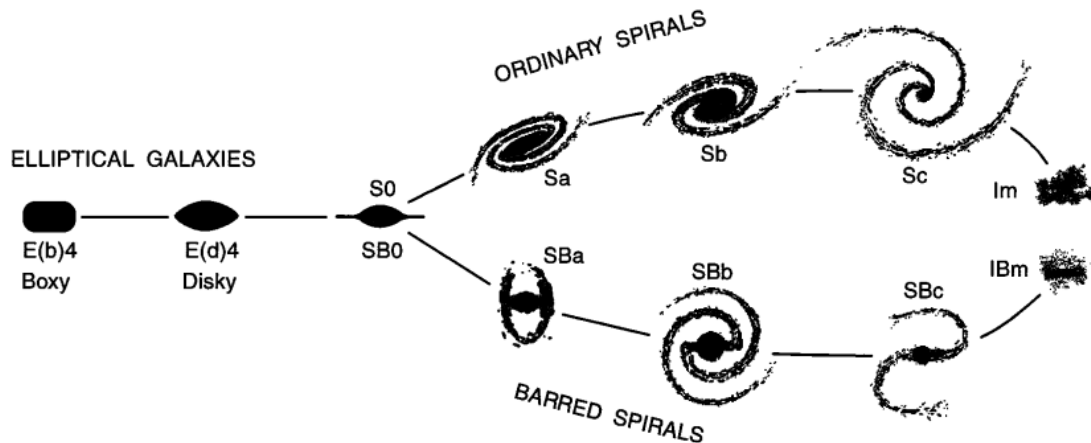


Figure 1. Diagrama del sistema de clasificación de Hubble. Creditos: J. Kormendy & R. Bender 1996 [3]

1.1 Bulge Galactico y perfil de *de Vaucouleurs*

El bulge galactico es una aglomeracion de estrellas que se encuentra en el centro de las galaxias, tanto elipticas como espirales.

El perfil de brillo superficial de una estructura como el bulge es descripto por un perfil de *de Vaucouleurs*. Este perfil se destaca por la relacion entre los radios de $1/4$.

$$\log\left(\frac{I(R)}{I_e}\right) = -3.3307\left[\left(\frac{R}{R_e}\right)^{1/4} - 1\right] \quad (1)$$

O bien una expresion equivalente:

$$I(R) = I_e \exp(-7.669[(R/R_e)^{1/4} - 1]) \quad (2)$$

Donde: $I(R)$ es el brillo superficial a radio R .

Teniendo en cuenta que:

$$L = \int \mathbf{I} \cdot d\mathbf{A} = \int_0^\infty dR 2\pi R I(R) \quad (3)$$

R_e el radio tal que la mitad de la luminosidad es emitida desde este radio:

$$\int_0^{R_e} 2\pi R I(R) dR = \frac{1}{2} L \quad (4)$$

1.2 Galaxias Elipticas

Galaxias elipticas: Estas son galaxias cuyas isofotas (isocontornos sobre los cuales los brillos superficiales son constantes) son muy parecidos a una elipse. Existe una subivision de las galaxias elipticas basada en su elipticidad:

$$\varepsilon = 1 - \frac{b}{a} \quad (5)$$

Donde: b =Coeficiente semi-eje menor , a = Coeficiente semi-eje mayor de una elipse. Por lo general se cumple: $0 \leq \varepsilon \lesssim 0.7$.

En base a esta definicion se suele clasificar a las galaxias elipticas con la nomenclatura: En donde: $n = 10\varepsilon = 10\left(1 - \frac{b}{a}\right)$, es decir n es el entero mas cercano al valor 10ε . Los subtipos generados por esta nomenclatura son $E0, E1, \dots, E7$.

En el espectro optico, las galaxias elipticas aparecen rojas, lo cual indica una poblacion estelar vieja. Por otro lado el STR es bastante bajo [7] $0.5 M_\odot/\text{yr}$. La metalicidad incrementa a medida que se acerca al centro de las galaxias.

1.2.1 Perfil de brillo superficial

Para las galaxias elipticas, la distribucion de brillo superficial sigue un perfil de *de Vaucouleurs*, dado que el componente dominante es el bulbo.

Existen dos parametros: boxy, diskly que describen la desviacion de las isofotas de una forma eliptica. Para describir el perfil de una isofota se considera el parametro $\theta(t)$ [7]:

$$\theta_a(t) = \left(1 + \frac{a_4 \cos(4t)}{r(t)}\right) (a \cos(t)) \quad (6)$$

$$\theta_b(t) = \left(1 + \frac{a_4 \cos(4t)}{r(t)}\right) (b \sin(t)) \quad (7)$$

Donde a, b corresponden nuevamente a los semiejes mayor y menor de la elipse respectivamente. El valor de $r(t)$:

$$r(t) = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2} + \frac{a^2 - b^2}{2} \cos(2t)} \quad (8)$$

Esta expresion se obtiene mediante una expansion de Taylor. El coeficiente a_4 discrimina a las isofotas como: $a_4 > 0$, isofota parecida a un disco(disky). $a_4 < 0$, isofota parecida a una caja(boxy).

1.2.2 Color de las galaxias elipticas.

Las galaxias elipticas tienen en general una poblacion general vieja de estrellas rojas, ricas en metales, con una muy baja tasa de formacion estelar lo cual las asocia a un color fotometrico rojo. Por otro lado hay una gran correlacion entre la luminosidad y el color, siendo que las galaxias elipticas mas brillantes, son mas rojas. [4]

1.3 Galaxias espirales

Este tipo de galaxias consisten en una estructura rotacional delgada con un disco, con brazos espirales con un bulgue central. Ocasionalmente estas estructuras pueden tener una barra.

Estas galaxias suelen clasificarse en S o SB denotando la no existencia o existencia de una barra respectivamene. Por otro lado esta la subclasificacion en base a la relacion bulbo-disco:

$$L_{\text{bulge}}/L_{\text{disk}} \quad (9)$$

Esta sub-clasificacion varia en tres rangos: a, b, c en orden decreciente de la relacion (10) donde por lo general a corresponde a una relacion 0.3 y c corresponde a una relacion 0.05, significando esto que el bulbo es mas prominente para las espirales de tipo a .

Las clasificaciones anteriores se combinan haciendo referencia a galaxias espirales, con barra y sub clasificadas segun la relacion (10).

Las magnitudes varian en un rango: $-16 \leq M \leq -23$ y las masas varian en un rango: $10^9 M_{\odot} \leq M \leq M^{12} M_{\odot}$ [7].

Algunas galaxias espirales tienen estructuras anulares. Galaxias con estas estructuras se denotan con una letra r . Galaxias sin estas estructuras se denotan con la letra s .

1.3.1 Perfil de brillo Superficial

Las galaxias espirales siguen 2 distribuciones[7]:

- Para el bulge, tiene un perfil de de Vaculeurs:

$$\mu_{\text{bulge}}(R) = \mu_e + 8.3268 \left[\left(\frac{R}{R_e} \right)^{1/4} - 1 \right]$$

- Para el pefil asociado al disco sigue una distribucion de brillo supeficial exponencial:

$$\mu_{\text{disk}}(R) = \mu_0 + 1.09 \left(\frac{R}{h_R} \right)$$

Para el bulge, tiene un perfil de de Vaculeurs mientras que el pefil asociado al disco sigue una distribucion de brillo supeficial exponencial:

$$\mu_{\text{disk}}(R) = \mu_0 + 1.09 \left(\frac{R}{h_R} \right)$$

Donde μ_0 : es el brillo del disco.

1.3.2 Color de las galaxias espirales

El color de una galaxia espiral depende de clasificacion segun el diagrama de Hubble. Las estrellas mas jovenes y masivas se incrementan al pasar $Sa \rightarrow Sc$, esto da por lo tanto una tendencia creciente hacia el color azul, conforme el bulbo tiene menos predominacia. Esto tambien esta en concordancia con la observacion de una alta tasa de formacion estelar en los brazos de las galaxias Sc .

1.4 Galaxias Lenticulares

Este tipo de galaxias presentan un bulbo y un disco, pero no tienen brazos espirales. Se consideran un tipo intermedio entre las galaxias elípticas y las espirales.

Poseen poco gas y polvo y tienen una población de estrellas rojas y viejas ricas en metales.

1.5 Galaxias Irregulares

Este tipo de galaxias no tienen una forma morfológica que pueda ser asociada a los otros tipos de Hubble. Poseen menor masa y menor luminosidad que las galaxias espiral y además tienen una actividad de formación estelar intensa. Típicamente las magnitudes van de -13 a -20 con una masa total que va de $10^8 - 10^{10} M_{\odot}$.

2 Sloan Digital Sky Survey

El Sloan Digital Sky Survey (SDSS) se inició en 2000 con el objetivo de realizar un censo de galaxias y cuásares a través de un ambicioso estudio de redshift. Permite obtener una amplia cantidad de información fotométrica y espectroscópica de aproximadamente un millón de galaxias y 100.000 cuásares.

El relevamiento utiliza una cámara CCD de gran formato, ubicada en Apache Point Observatory, New Mexico, para capturar imágenes en cinco bandas (u, g, r, i, z) ópticas y dos espectrógrafos digitales. Cada uno de estos filtros tiene longitudes de onda efectivas de 3550, 4770, 6230, 7620 y 9130 Angstrom. El arreglo permite la resolución de objetos con tamaño menor a $1.5''$ FWHM [11].

El survey de SDSS tiene un límite espectroscópico en la banda r de aproximadamente una magnitud 17.77 [9].

2.1 Magnitudes Petrosianas

Las galaxias son objetos con bordes pobremente definidos y no todas tienen el mismo perfil radial de brillo superficial lo cual provoca que medir el flujo sea más dificultoso que en el caso de las estrellas, para evitar este problema SDSS toma una definición modificada del sistema Petrosian [6].

Los datos fotométricos del relevamiento del SDSS se obtienen de un pipeline llamado *Photo*. Este pipeline tiene una definición modificada del radio petrosiano diseñada para medir una fracción constante del total de la luz independientemente del límite de brillo superficial [8].

Se define el parámetro radio petrosiano r_p como el radio donde el brillo superficial local promediado en un anillo es igual al 20% del brillo superficial interior promedio dentro de este anillo es decir [2]:

$$\frac{\int_{0.8r_p}^{1.25r_p} 2\pi r I(r) / [\pi(1.25^2 - 0.8^2)r^2]}{\int_0^{r_p} 2\pi r I(r) / [\pi r^2]} = 0.2 \quad (10)$$

Aquí $I(r)$ es el perfil de brillo superficial radial.

A partir de este radio r_p se define el flujo petrosiano como:

$$F_p = \int_0^{2r_p} 2\pi r dr I(r) \quad (11)$$

Este radio Petrosiano se define en la banda r y no es necesariamente el más óptimo para definir el radio en otras bandas.

Este tipo de definición recupera el 98% del flujo del perfil de una galaxia exponencial y el 80% del flujo de una galaxia con perfil de *de Vaucouleurs* [2].

2.1.1 R_{50} y R_{90}

Las otras salidas listadas en pipeline de *Photo* son R_{50} y R_{90} . Aquí se define R_{50} como el radio que contiene el 50% del flujo Petrosiano en la banda r . Por otro lado R_{90} es el radio que contiene el 90% del flujo, en la misma banda.

2.1.2 Índice de Concentración

Se define el índice de concentración en la banda r : [2].

$$C = \frac{r_{90}}{r_{50}} \quad (12)$$

Valores altos de C correlacionan a galaxias con perfil de *de Vaucouleurs* (Early Type). Por otro lado, un nivel bajo de C correlaciona a perfiles exponenciales de galaxias (Late Type).

El límite de resolución para r_{50} debido al Seeing es de $1.5''$ [2],[11] de manera que no podrán resolverse galaxias con una separación menor a este valor. Esto representa entonces un valor de corte para las muestras estudiadas en el presente trabajo.

Este índice correlaciona con el tipo de galaxia, siendo que para valores altos de este hay una correlación con un perfil de brillo *de Vaucouleurs* mientras que para valores menores esta correlaciona con un perfil de brillo exponencial para una galaxia. Sin embargo este coeficiente no es el método más robusto para una separación morfológica sin embargo en general permite separar galaxias de tipo temprano: E, S0, Sa de galaxias de tipo tardío: Sb, Sc, Irr [10].

2.2 El sistema AB

El sistema AB relaciona directamente la magnitud de un objeto con su densidad de flujo f_ν , en términos de energía recibida por unidad de tiempo, área y frecuencia generalmente en Jansky: $1[\text{Jy}] = 10^{-26}[\text{Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}]$.

Concretamente la magnitud AB se define como[5]:

$$m_{\text{AB}} = -2.5 \log_{10} \left(\frac{f_\nu}{3631[\text{Jy}]} \right) \quad (13)$$

Aquí, $3631[\text{Jy}]$ es la densidad de flujo de referencia que corresponde a una magnitud AB de 0 en cualquier banda.

En el pasado se utilizaba el sistema Vega, que utiliza a la estrella Vega como punto cero para todas las magnitudes, lo que significa que Vega tiene una magnitud de 0 en cada banda fotométrica U,B,V[5].

El sistema AB, en cambio, está anclado a una densidad de flujo constante de 3631 Jy , independiente de cualquier objeto astronómico específico. Esto hace que el sistema AB sea más consistente al comparar objetos observados con diferentes instrumentos[5].

3 Selección de Muestra

Se selecciona una muestra de 20000 Galaxias del Data Release 17 (DR17) con las siguientes características:

Parametro	Unidad	Intervalo	Descripción
ra	deg		Right ascension of fiber, $J2000$
dec	deg		Declination of fiber, $J2000$
redshift		$0.02 < z < 0.05$	Redshift
$r_p^f = r_p - \text{ext}^*$	mag	$14.5 < r < 17.77$	Petrosian Mag r (corr por extinción)
r_{50}	arcsec	$r_{50} > 1.5''$	Radius containing 50% of Petrosian flux
r_{90}	arcsec		Radius containing 90% of Petrosian flux
fracDeV_ $_r$			Weight of deV component in deV + Exp model
velDisp	km/s		Velocity dispersion

Table 1. Parametros utilizados para la muestra de Galaxias.

*Calculado de forma indirecta

Adicionalmente existen cantidades calculadas de forma indirecta:

i. $M_r = r'_p - 5 \log_{10}(d_L) - 25 - \text{AB}$: Magnitud Absoluta Petrosiana (Banda r)

– Aquí d_L es la distancia luminosidad, definida como:

$$d_L = (1+z) \frac{c}{H_0} \int_0^z \frac{dz'}{\sqrt{\Omega_{m0}(1+z')^3 + \Omega_{\Lambda 0}}} \quad (14)$$

Donde: $(\Omega_m, \Omega_\Lambda)_0 = (0.3, 0.7)$, $H_0 = 70 [\text{km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}]$

– AB: Constante de conversion al sistema AB (Ver Sección 2.2).

– De manera similar se calculan las magnitudes petrosianas en las otras bandas: u, g, i, z dando como resultado: M_u, M_g, M_i, M_z .

– A partir de las anteriores se define: $g - r = M_g - M_r$ y $u - r = M_u - M_r$

ii. $r_{50} [\text{kpc}] = \frac{\pi}{180} d_A r_{50} [\text{arcsec}]$: Radio Petrosiano , 50% , en [kpc]

– Aquí: d_A es la distancia angular, definida como:

$$d_A = \frac{d_L}{(1+z)^2} \quad (15)$$

iii. $\mu = M_r - 2.5 \log_{10}(2\pi r_{50} [\text{kpc}] + \text{AB})$: Brillo Superficial en la banda r .

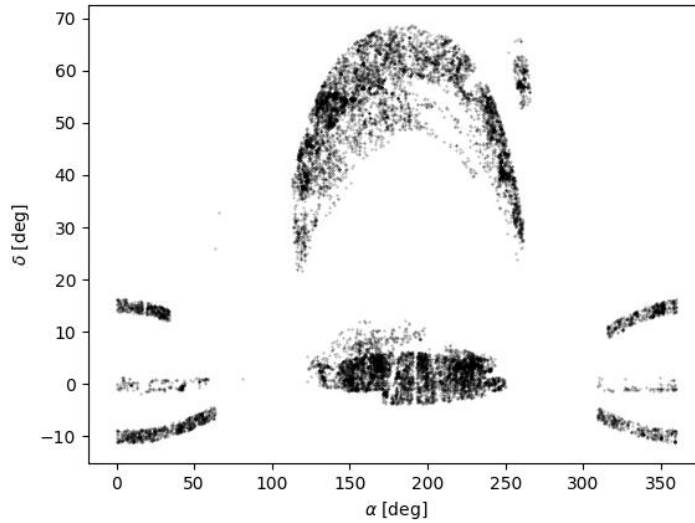


Figure 2. Proyeccion Aitoff de las coordenadas ecuatoriales α : Ascencion Recta y δ : Declinacion del Survey SDSS

3.1 Muestra Completa en Volumen

Se trabaja con una muestra completa en volumen limitada en magnitud para evitar los sesgos que favorezcan a las galaxias mas brillantes. Para ello se consideran magnitudes en la banda r tales que: $M_r < -18.85$. Este corte da una muestra de 13303 galaxias del total (20000), lo cual representa una pérdida del 44% de los objetos aproximadamente. La muestra en volumen esta constituida por lo tanto por la region: $-22 \leq M_r \leq -18.85$, $0.02 \leq z \leq 0.05$ (Ver Figura 3).

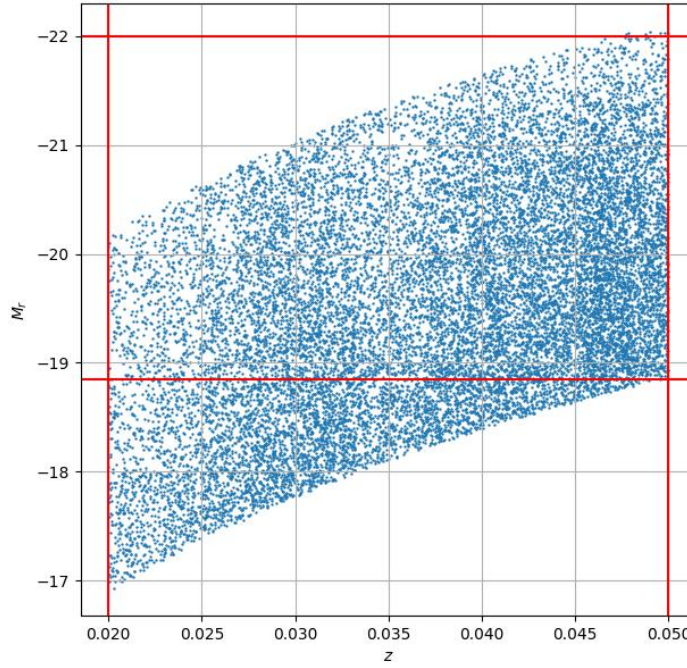


Figure 3. Grafico redshift z vs M_r . Puede observarse que a mayor redshift hay perdida de galaxias con magnitud M_r más débil por lo cual se propone recortar esta muestra para valores menores a -18.85 en magnitud y evitar sesgos en favor de los objetos mas brillantes.

4 Estudio de Segregacion de galaxias

4.1 Bimodalidad

Las galaxias pueden ser clasificadas morfológicamente acudiendo al diagrama color magnitud[10]. Esta clasificacion morfológica divide la poblacion en dos regiones en el espacio de color magnitud $u - r$ o $g - r$, estas segregacion tiene como referencia el enrojecimiento de la galaxia, o cuanto la luz de la misma se aparta de este color, azul como caso opuesto.

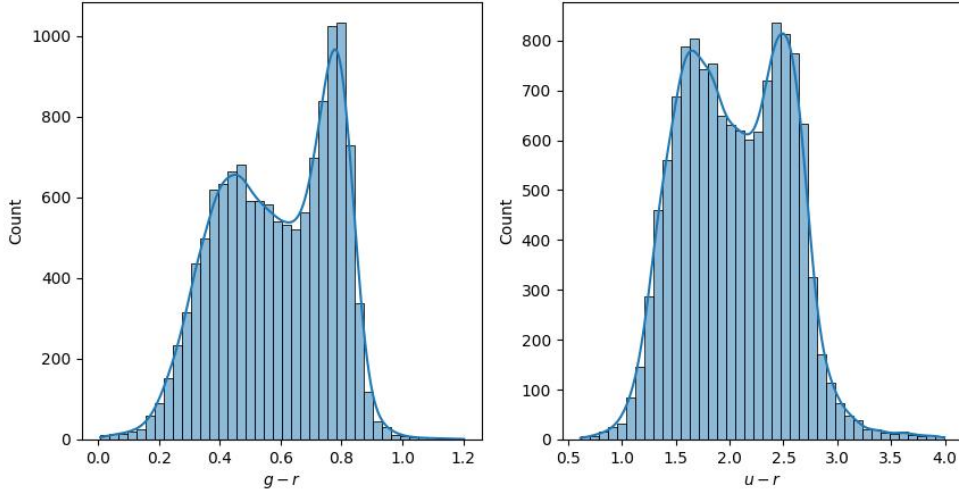


Figure 4. Distribucion Color-Magnitud de poblacion de galaxias. Izquierda, distribucion $g-r$. Derecha, distribucion $u-r$.

La Figura 2 muestra una distribucion bimodal de las galaxias segun su color. Concretamente en la distribucion $u-r$ podemos ver dos poblaciones, una de galaxias azules (Late Type) y otra con galaxias rojas (Early Type).

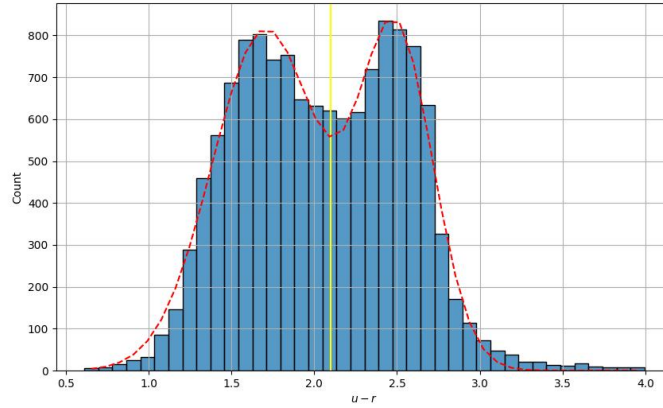


Figure 5. Distribucion Color-Magnitud. La distribucion es bimodal, con dos centros, $\mu_1 = 1.7$, $\sigma_1 = 0.3$ (Nube azul) y $\mu_2 = 2.5$, $\sigma_2 = 0.2$ (Secuencia Roja). Se estima un punto medio de corte (Linea amarilla) que separa a ambas poblaciones en $\mu_{\text{cut}} = 2.1$.

A_1	μ_1	σ_1	A_2	μ_2	σ_2	$\mu_{\text{cut}} = \frac{A_{b1}\mu_1 + A_{r2}\mu_{r2}}{A_{b1} + A_{r2}}$
814	1.7	0.3	799	2.5	0.2	2.1

Table 2. Resultados del ajuste bimodal Gaussiano $f(x) = A_1 \exp\left(\frac{(x - \mu_{b1})^2}{2\sigma_{b1}^2}\right) + A_{\text{red}} \exp\left(\frac{(x - \mu_{r2})^2}{2\sigma_{r2}^2}\right)$. μ_{cut} representa una magnitud de corte para diferenciar las poblaciones, calculada como la suma pesada en las cantidades maximas de cada poblacion.

4.1.1 Diagrama Color Magnitud

Teniendo en cuenta la bimodalidad que revela en el parametro $u-r$, se elabora un diagrama de Color - Magnitud , M_r vs $u-r$ como en [1] para estudiar la segregacion de las galaxias segun su

color. Se realiza el ajuste bimodal de la seccion anterior, sobre los quintiles ubicados en: $M_r = [-20.7, -20.1, -19.7, -19.2]$. Cada maximo señala un maximo de poblacion de cada tipo, caracterizando la nube azul, galaxias en general ubicadas a $u - r < 2.1$ y la secuencia roja.

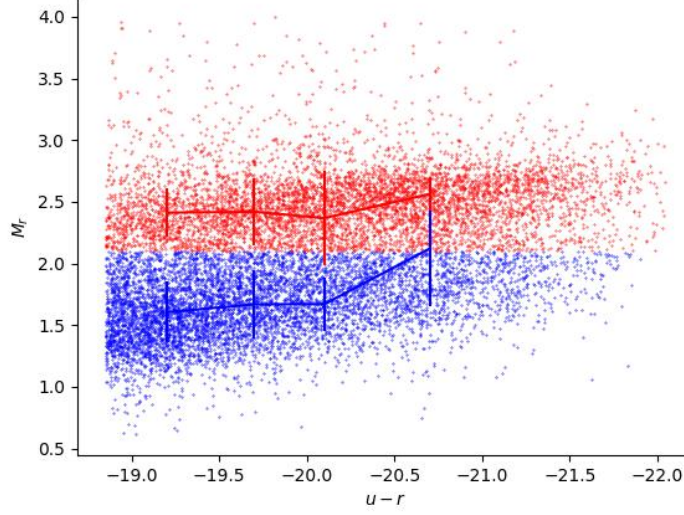


Figure 6. Diagrama M_r vs $u - r$. Se utiliza el valor 2.1 para discriminar las galaxias Secuencia roja (Rojo) y Nube Azul (Azul). El ajuste revela una poblacion bimodal bien definida de galaxias.

4.2 Clasificacion en funcion del indice de Concentracion

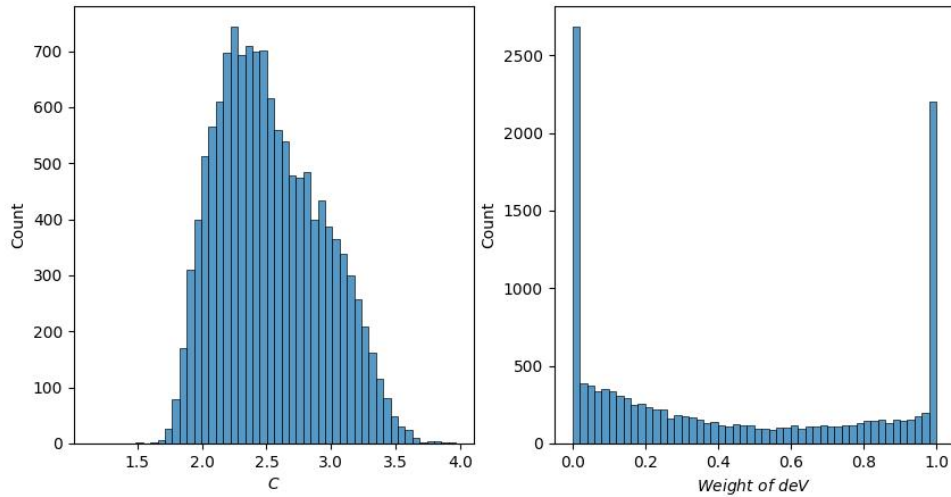


Figure 7. Izquierda: distribucion de indice de concentracion C . Esta distribucion muestra dos poblaciones de galaxias existentes para $C < 2.5$ (Early Type) y $C > 2.5$ (Late Type) en la banda r . Derecha: distribucion del parametro de peso fracDeV (Banda r). Galaxias con un valor 1 para esta distribucion tienen un perfil de *de Vaucouleurs* puro. Por otro lado Galaxias con un valor 0 para esta distribucion, tendran un perfil exponencial puro. El resto de galaxias poseen un perfil intermedio entre estos dos.

Se investiga brevemente la relacion entre C y fracDeV . Para ello se calcula la correlacion entre estas dos propiedades asi como realizar un ajuste lineal:

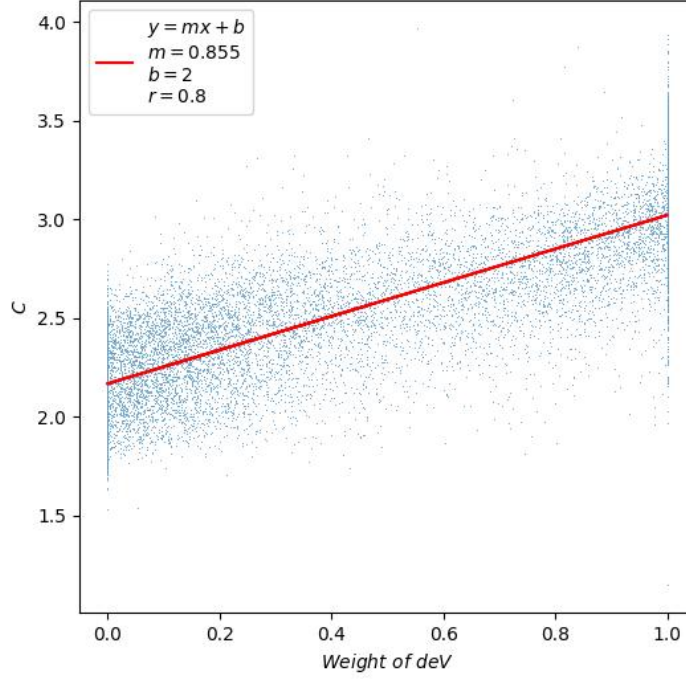


Figure 8. Grafico Weight of deV vs C . El coeficiente de correlacion $r = 0.8$ indica una gran correlacion entre C y fracDeV_r (Weight of deV).

Los parametros obtenidos del ajuste lineal son los siguientes:

Ecuacion	m	b	r	std
$y = mx + b$	0.855	2	0.8	0.005

Table 3. El coeficiente de correlacion r muestra una relacion lineal entre C y Weight of deV. La pendiente positiva indica que a mayor componente de *de Vaucouleurs* mayor es el indice de concentracion, lo cual indica que galaxias con un perfil exponencial estan asociadas a galaxias menos concentradas ($C < 2.5$) en cambio galaxias con un perfil de *de Vaucouleurs* puro tienen un indice de concentracion alto $C > 2.5$.

Tal y como se menciona en la seccion 2.1.2 este coeficiente separa de forma general galaxias de tipo tardio de galaxias de tipo temprano. En la Figura 8 puede verse que las galaxias con $C > 2.5$

están asociados a perfiles de brillo de *de Vaucouleurs* (Asociados a una predominancia del Bulge y por lo tanto asociado a galaxias elípticas), mientras que valores $C < 2.5$ están asociados a perfiles de brillo exponencial, el cual es un perfil que aparece en galaxias con disco.

5 Estudio de Morfología y tamaño - luminosidad

5.1 Índice de concentración vs Color

Se examina si existe alguna relación entre c y $u - r$ que permita clasificar galaxias. El índice de correlación entre ambas propiedades es de 0.54 y como muestra la Figura, hay una correlación leve. Sin embargo los valores $C = 2.5$ y $u - r = 2.1$ dividen una zona del espacio donde pueden clasificarse las galaxias como:

C	C - Clasificación	$u - r$	$u - r$ - Clasificación	Densidad (porcentaje)
>2.5	Early Type	>2.1	Roja	37
<2.5	Late Type	<2.1	Azul	40
>2.5	Early Type	<2.1	Azul	11
<2.5	Late Type	>2.1	Roja	12

Table 4. Porcentaje de galaxias que se encuentran en las zonas delimitadas por las divisiones $C = 2.5$ y $u - r = 2.1$

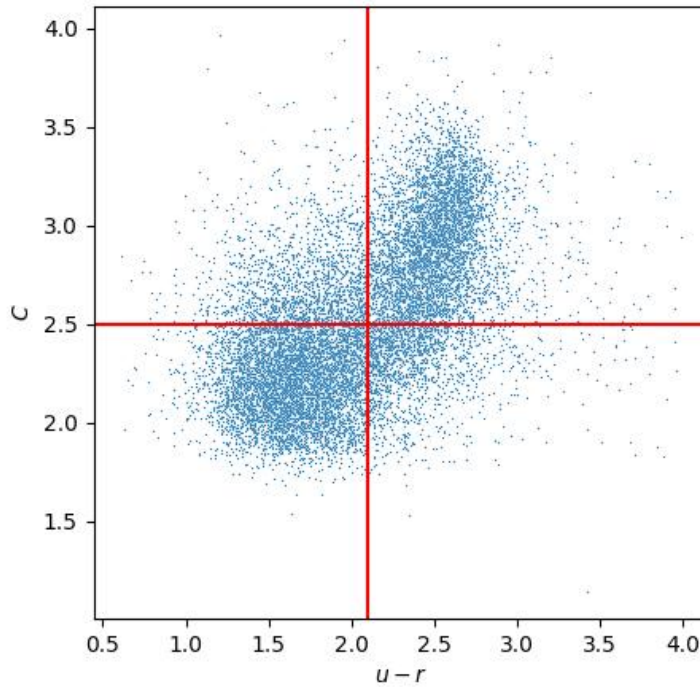


Figure 9. Los valores $c = 2.5$ y M_{u-r} dividen el espacio en 4 regiones, la mayor densidad de objetos se encuentra en la parte superior derecha y en la parte inferior izquierda y están relacionados a Galaxias con morfología Elíptica (Early Type), morfología Espiral (Late Type), respectivamente.

5.2 Relacion Tamaño - Luminosidad

Se estudia la relacion entre el tamaño de las galaxias y la luminosidad. Siendo el radio Petrosiano r_{50} en la banda r , una propiedad relacionada con el tamaño de la fuente luminosa y la magnitud absoluta en la banda r , M_r , como una medida de su luminosidad.

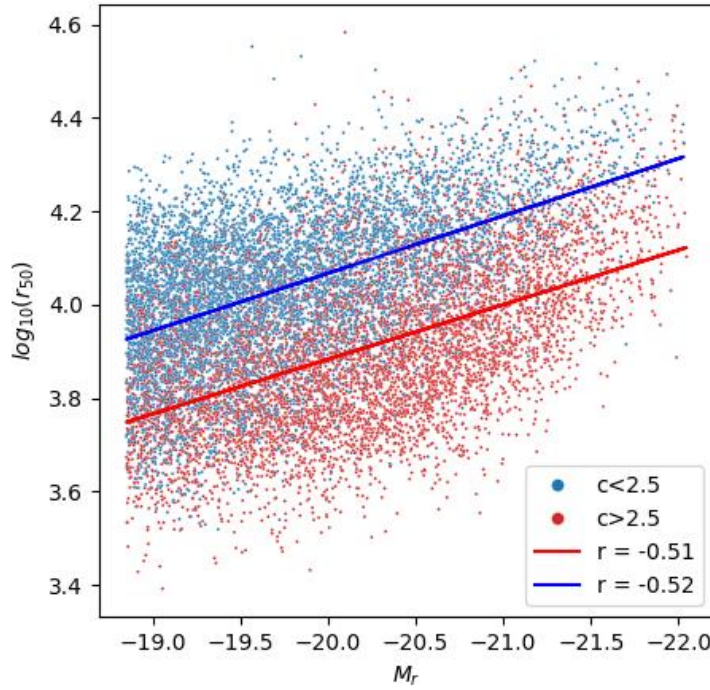


Figure 10. Grafico de Luminosidad vs Tamaño de galaxias discriminando entre early type ($C > 2.5$) y late type ($C < 2.5$). Para una dada magnitud y teniendo en cuenta la definicion de r_{50} que esta asociada al radio del perfil de luminosidad, se asocia un mayor tamaño a una galaxia con $C < 2.5$ (Late), y un menor tamaño a una galaxia con $C > 2.5$ (Early).

La Figura 10, permite llegar a la conclusion de que las galaxias Late, son mas grandes (Mas extendidas) que las de tipo Early.

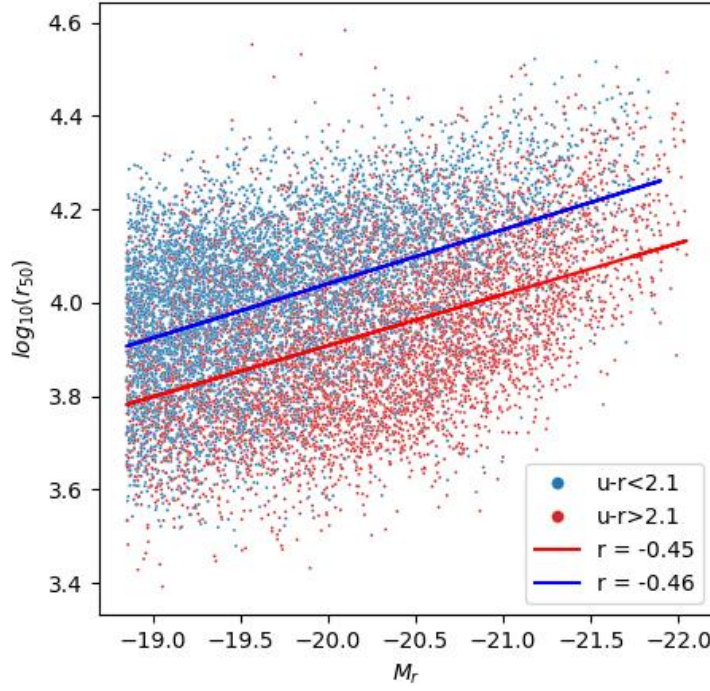


Figure 11. Grafico de Color vs Tamaño de galaxias discriminando entre galaxias azules ($u-r < 2.1$) y galaxias rojas ($u-r > 2.1$). Se muestran los índices de correlación existente para cada población discriminada según $u-r$, la misma muestra una correlación existente entre las variables M_r y $\log(r_{50})$.

A un mismo valor de magnitud absoluta M_r en la banda r , se asocia un mayor tamaño a las galaxias azules con $u-r < 2.1$, mientras que se asocia un tamaño menor a galaxias rojas con $u-r > 2.1$.

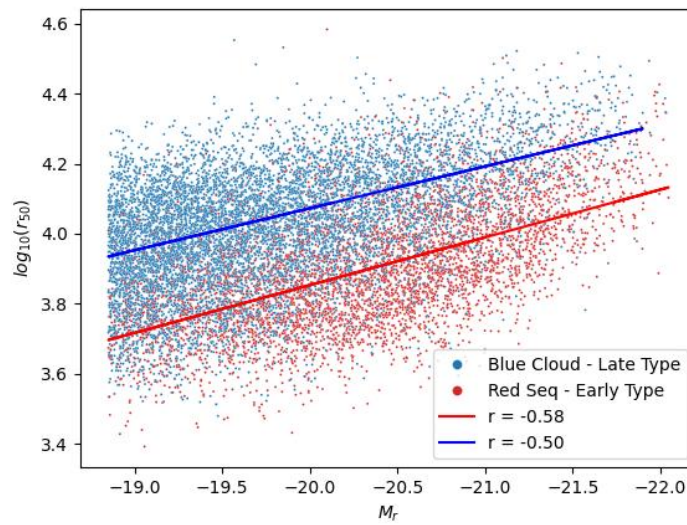


Figure 12. Grafico del Tamaño de las galaxias, $\log(r_{50})$ en función de su magnitud petrosiana M_r , discriminando en dos grupos: $c > 2.5$, $u-r > 2.1$ correspondiente a galaxias Early Type y Rojas, mientras que el otro grupo consiste en $c < 2.5$, $u-r < 2.1$ correspondiente a galaxias Late Type y Azules.

La Figura 12 muestra que para una dada magnitud absoluta en la banda r , la segregación Blue Cloud - Late Type esta asociada con galaxias de mayor tamaño, mientras que la segregación Red Sequence - Early Type está asociada a galaxias de menor tamaño. Además de esto, se observa que la distinción utilizando una segregación con estas características da una distinción más marcada en el tamaño (Esto puede verse en la separación existente que hay entre las dos rectas de ajuste para este caso, en relación a los casos anteriores).

Condicion	Tipo	m	b	r	std
$c > 2.5, u - r > 2.1$	Early + Roja	-0.136	1.126	-0.58	0.003
$c < 2.5, u - r < 2.1$	Late + Azul	-0.120	1.676	-0.50	0.003
$u - r > 2.1$	Roja	-0.110	1.715	-0.45	0.003
$u - r < 2.1$	Azul	-0.116	1.716	-0.46	0.003
$c > 2.5$	Early	-0.117	1.544	-0.51	0.002
$c < 2.5$	Late	-0.123	1.611	-0.52	0.002

Table 5. Valores obtenidos para los ajustes hechos segun los distintos discriminantes. Los coeficientes de correlacion r muestran una dispersion grande de los objetos luminosos en general.

La Tabla 5 muestra que si se considera una separacion por tipos morfologico y color en el coeficiente C se tendra que en terminos de radio: Early + Roja < Late + Azul.

6 Conclusiones

Los análisis anteriores muestran, utilizando la fotometría, que distintos parámetros pueden ser tomados para realizar una segregación de las galaxias según su Morfología (Early / Late) y su color en distintas bandas, para una muestra completa en Volumen. La tabla 6 muestra un resumen de los resultados obtenidos:

Parametro/Estudio	Clasificacion
Distribucion $u - r, g - r$	Color: Azul / Rojo
Diagrama color Magnitud M_r vs $u - r$	Color: Azul / Rojo
Distribucion Indice C'	Morfologia: Late / Early
Distribucion fracDeV	Morfologia: Late / Early
Indice c vs $u - r$	Morfologia y Color

Table 6. Resumen de parámetros estudiados que permiten clasificar los objetos del catálogo según el color y según la morfología.

En la seccion 5.1 se realizo un estudio sobre la segregacion de las galaxias utilizando las siguientes propiedades:

- El color: Las Figuras 4 y 5 revelan que hay una separación de las poblaciones en dos grupos, en particular para la magnitud $u - r$ se establece un umbral de separación en $u - r = 2.1$ que segrega a las galaxias en una población roja : Secuencia roja y una población de galaxias azules: Nube azul. La Figura 6 muestra esta separacion de poblaciones considerando todo el rango de magnitudes en la banda r para el conjunto de galaxias del relevamiento.
- El índice de concentración revela (Figura 7 panel izquierdo) la existencia de dos poblaciones de galaxias sin una asociación directa a algún tipo morfológico.
- El peso del componente de *de Vaucouleurs* en la distribución de brillo de la galaxia. La Figura 7 (Panel derecho) muestra una distribución de galaxias donde los extremos corresponden a perfiles de *de Vaucouleurs* puros (fracción del peso igual a 1) o bien elípticos puros (fracción del peso igual a 0). Esta distribución esta vinculada directamente a la Morfología ya que como se dijo en la sección 1, los distintos perfiles de brillo superficial corresponden a una presencia en mayor o menor proporción del Bulge galáctico, el cual es más prominente en galaxias elípticas.

- La Figura 8 permite establecer una correlación entre la fracción del componente de *de Vaucouleurs* y el índice de concentración, permitiendo que este último pueda discriminar en morfología de manera indirecta, siendo $C < 2.5$ (Early Type) y $C > 2.5$ (Late Type).

En la sección 5.2 se utilizaron los resultados de la sección 5 para derivar conclusiones sobre el tamaño y la luminosidad de las galaxias en la banda r . El tamaño se estableció en referencia al parámetro r_{50} . En líneas generales se encontró que para una dada magnitud absoluta M_r en la banda r , la mayor discrepancia en tamaños puede encontrarse entre las galaxias Early y rojas y las galaxias Late y azules (Figura 12). Discrepancias menores en tamaño pueden encontrarse entre galaxias azules y rojas (Figura 11) y galaxias Early y Late (Figura 10).

References

- [1] Ivan K Baldry, Michael L Balogh, RG Bower, K Glazebrook, Robert C Nichol, Steven P Bamford, and T Budavari. Galaxy bimodality versus stellar mass and environment. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 373(2):469–483, 2006.
- [2] Michael R Blanton, Julianne Dalcanton, Daniel Eisenstein, Jon Loveday, Michael A Strauss, Mark SubbaRao, David H Weinberg, John E Anderson Jr, James Annis, Neta A Bahcall et al. The luminosity function of galaxies in sdss commissioning data. *The Astronomical Journal*, 121(5):2358, 2001.
- [3] John Kormendy and Ralf Bender. A proposed revision of the hubble sequence for elliptical galaxies. *The Astrophysical Journal*, 464(2):0, 1996.
- [4] Houjun Mo, Frank Van den Bosch, and Simon White. *Galaxy formation and evolution*. Cambridge University Press, 2010.
- [5] JB Oke and JE Gunn. Secondary standard stars for absolute spectrophotometry. *Astrophysical Journal, Part 1, vol. 266, Mar. 15, 1983, p. 713-717.*, 266:713–717, 1983.
- [6] Vahe Petrosian. Surface brightness and evolution of galaxies. *Astrophysical Journal, vol. 209, Oct. 1, 1976, pt. 2, p. L1-L5.*, 209:0, 1976.
- [7] Peter Schneider. *Extragalactic astronomy and cosmology: an introduction*, volume 146. Springer, 2006.
- [8] Shiyin Shen, HJ Mo, Simon DM White, Michael R Blanton, Guinevere Kauffmann, Wolfgang Voges, J Brinkmann, and Istvan Csabai. The size distribution of galaxies in the sloan digital sky survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 343(3):978–994, 2003.
- [9] Chris Stoughton, Robert H Lupton, Mariangela Bernardi, Michael R Blanton, Scott Burles, Francisco J Castander, Andrew J Connolly, Daniel J Eisenstein, Joshua A Frieman, Gregory S Hennessy et al. Sloan digital sky survey: early data release. *The Astronomical Journal*, 123(1):485, 2002.
- [10] Iskra Strateva, Željko Ivezić, Gillian R Knapp, Vijay K Narayanan, Michael A Strauss, James E Gunn, Robert H Lupton, David Schlegel, Neta A Bahcall, Jon Brinkmann et al. Color separation of galaxy types in the sloan digital sky survey imaging data. *The Astronomical Journal*, 122(4):1861, 2001.
- [11] Donald G York, J Adelman, John E Anderson Jr, Scott F Anderson, James Annis, Neta A Bahcall, JA Bakken, Robert Barkhouser, Steven Bastian, Eileen Berman et al. The sloan digital sky survey: technical summary. *The Astronomical Journal*, 120(3):1579, 2000.