



**INAOE**

**Modelado Bidimensional de la Distribución  
de Brillo Superficial Galáctico;  
Implicaciones hacia la Clasificación  
Morfológica Cuantitativa de las Galaxias.**

Por:

**Joaquín Alvira Enríquez.**

Centro Astronómico Clavius, de la UIA.

Somete el presente trabajo como requisito parcial para  
obtener el grado de:

**Licenciado en Ingeniería Física en la Universidad  
Iberoamericana,  
Campus Cd. de México**

Trabajo supervisado por:

**Dr. Omar López Cruz.**

Investigador Titular de la Coordinación de Astrofísica  
del  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica, y  
Electrónica (INAOE).

©INAOE 2007

Derechos Reservados

El autor otorga al INAOE el permiso de  
reproducir y distribuir copias de esta tesis en su  
totalidad o en partes.



# **Modelado Bidimensional de la Distribución de Brillo Superficial Galáctico; Implicaciones hacia la Clasificación Morfológica Cuantitativa de las Galaxias.**

Por:

**Joaquín Alvira Enríquez.**

Centro Astronómico Clavius, de la UIA.

Somete el presente trabajo como requisito parcial para obtener el grado de:

**Licenciado en Ingeniería Física en la Universidad Iberoamericana,  
Campus Cd. de México**

Trabajo supervisado por:

**Dr. Omar López Cruz.**

Investigador Titular de la Coordinación de Astrofísica del  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica, y Electrónica (INAOE).

*“What are galaxies?  
No one knew before 1900.  
Very few people knew in 1920.  
All astronomers knew after 1924”*

**Allan Sandage, The Hubble Atlas of Galaxies, 1961**

## **Resumen.**

En este trabajo se presentan los resultados de un proyecto en el cual se obtuvieron parámetros estructurales para 88 galaxias cercanas basándose en el modelado de brillo superficial. La muestra aquí estudiada fue obtenida del catálogo Zsolt Frei (Frei, Guhathakurta, Gunn, & Tyson. 1996). Los parámetros son obtenidos ajustando bidimensionalmente el brillo superficial de dichas galaxias. Para tal fin, se hizo uso del programa GALFIT (Peng et al. 2002) para obtener dichos parámetros mediante la combinación de modelos apropiados para las distintas componentes cinemáticas de las galaxias. Se usaron las funciones de Sérsic (en el caso del bulbo) y de la función exponencial (en el caso del disco), así como el campo plano dado “sky” o cielo.

En estudios anteriores no se había llegado a resultados concluyentes debido a que los datos provenían de placas fotográficas y el análisis del brillo superficial se hacía de manera unidimensional. En este estudio hemos usado datos de alta señal sobre el ruido tomados por detectores de alta eficiencia cuántica (Charge Coupled Device, CCD) y la aplicación de modelos donde se considera la contribución al brillo superficial de las galaxias en cada píxel. Presentamos la cuantificación de la secuencia de Hubble mediante el cociente de las escalas características de la componente del bulbo contra el disco de las galaxias (B/D). Proponemos que la secuencia de Hubble cubre un continuo del B/D que corre desde los bulbos puros hasta los discos puros. Demostrando que es posible cuantificar dicha propiedad y usarla como clasificador.

## **Preámbulo.**

En el principio no había galaxias; sólo existía la oscuridad. Metafóricamente, decimos que nuestro Universo se agranda a medida que incorporamos nuevos elementos y conocimientos. En el siglo pasado descubrimos que nuestro Sol era una estrella más, en un conglomerado de más de cien mil millones de estrellas al que llamamos nuestra Galaxia. A su vez, la Galaxia es una entre más de cien mil millones de galaxias que poblan el Universo. Sabemos que tanto el Universo como las galaxias no han existido por siempre. También sabemos que nuestro universo es cuatro-dimensional, con tres coordenadas espaciales y una temporal. Las galaxias nos han ayudado a entender que vivimos en universo en expansión y a su vez son trazadoras de la distribución de materia a grande escala. Es por esto, que se considera importante caracterizar las propiedades internas de las galaxias, para que esta forma obtengamos claves acerca de la época de formación de las mismas.

Cuando Charles Messier dio a conocer su catalogo en 1781 que originalmente contenía de 108 objetos nebulares. No se imaginó las implicaciones que esto traería. Confundidas entre remanentes de supernova (p. ej. M1, la Nebulosa del Cangrejo), nebulosas planetarias (p. ej. M57, la Nebulosa del Anillo), regiones HII (p. ej. M42, la Nebulosa de Orión), cúmulos abiertos (p. ej. M45, las Pléyades) y cúmulos globulares (p. ej. M13 el gran Cúmulo de Hércules) se encontraban las nebulosas espirales. M31 la, ahora conocida, Galaxia de Andrómeda resulto ser la más cercana de las nebulosas espirales, cuando Edwin Hubble en 1922 demostró que ésta se encontraba a más de dos

millones de años luz, no quedó duda que Andrómeda era un sistema extra-galáctico. Junto con la Galaxia de Andrómeda encontramos 37 galaxias más en catálogo de Messier.

En el camino hacia el descubrimiento de las galaxias vemos que se llamaba nebulosa a cualquier objeto que no tuviese la apariencia puntal que presentan las estrellas al observador. La más primitiva de las clasificaciones sólo tenía tres clases: estrellas, nebulosas y planetas. Las galaxias, a su vez, han sido clasificadas de acuerdo con su apariencia morfológica (p. ej., espirales, elípticas, irregulares). Al parecer, la morfología está ligada a procesos físicos durante la formación de las galaxias. En este trabajo intentamos cuantificar la morfología de las galaxias mediante el análisis de su brillo superficial.

## **Introducción.**

**I.** En el presente trabajo es una extensión al estudio realizado por el Ing. Christopher Añorve Solano<sup>[1]</sup>, estudiante de la Maestría en Astrofísica del INAOE, quien realizó el morfológico de 584 galaxias en diez cúmulos de galaxias del catálogo de Abell.

Los estudios de perfil de brillos superficial, específicamente el estudio del cociente B/D galáctico han sido esenciales para establecer indicadores de clasificación morfológica (entre otras propiedades). Los estudios realizados en características galácticas han demostrado retroalimentación en las áreas de dinámica, interacción y evolución galáctica, así como ser un poderoso complemento a los estudios de evolución estelar.

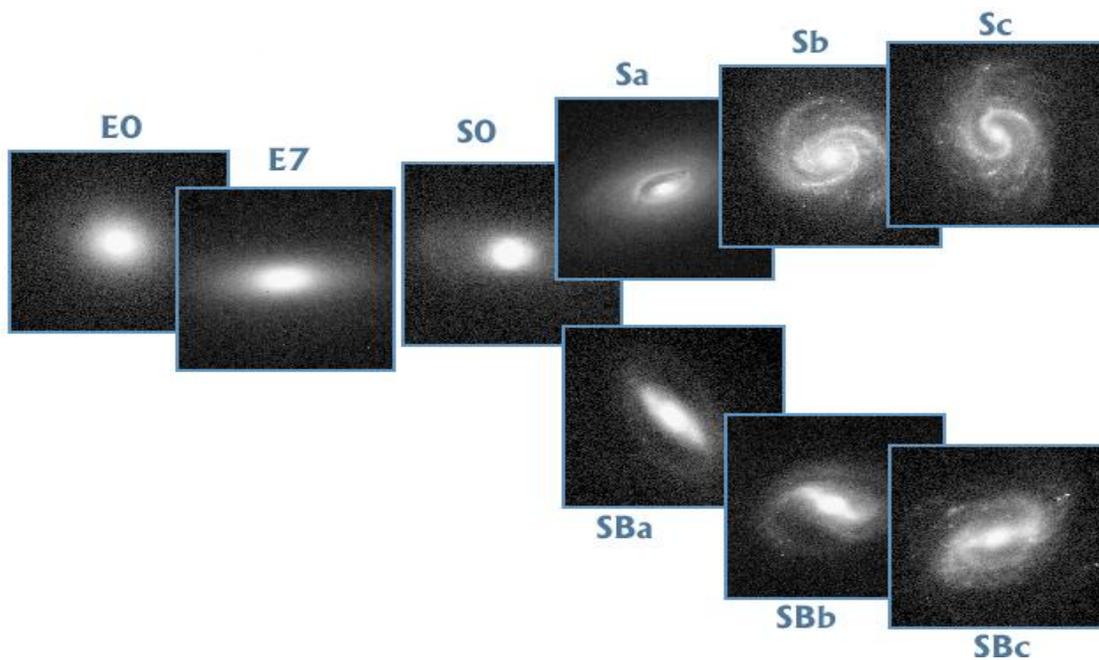
Se obtuvo una muestra representativa de galaxias obtenidas del catálogo Zsolt Frei (Zsolt Frei, Puragra Guhathakurta, James E. Gunn, and J. Anthony Tyson. 1996 "A Catalog of Digital Images of 113 Nearby Galaxies") para trabajar sobre dichos ejemplares y de ahí derivar una posible regla extensible. Al tratarse de un catálogo de galaxias cercanas se han obtenido datos de alta señal sobre el ruido. El programa utilizado para la obtención de dichos perfiles será GALFIT, desarrollado por el Dr. Chien Peng (Peng et al. 2002).

**II.** La ciencia de la clasificación, o Taxonomía, pareciera dar facilidad a la forma de aprendizaje y desarrollo humano. El clasificar es tarea de toda ciencia y pareciera ser una de las bases del continuo avance conceptual, prueba de ello puede ser el hecho de que inclusive los sistemas de clasificación son clasificados. La gran diversidad de variedades galácticas hace indispensable un sistema de clasificación que pueda conducirnos a los principales mecanismos que influyen en la formación y evolución de las galaxias. En estos días de grandes avances tecnológicos se considera que la clasificación morfológica es subjetiva, un tanto artístico, y depende del clasificador. Innumerables estudios han demostrado que nuestra visión es un reconocedor de patrones muy avanzado, clasificadores calificados pueden llegar a niveles altos de precisión. Sin embargo, las grandes bases de datos ya existentes, por ejemplo el Sloan Digitized Sky Survey (SDSS) ha puesto al alcance de los astrónomos imágenes de 200 millones de objetos celestes,

hacen imposible la intervención humana en la clasificación de la totalidad de los datos de SDSS. Lo que aquí, pretendemos en derivar patrones que nos asistan en la clasificación automática de las galaxias aplicables a cualesquier base de datos.

Sistema de Clasificación de Hubble.

Quizás el sistema de clasificación más conocido (y más sencillo) sea el diapasón de Hubble (Hubble, 1926), el cual divide las galaxias en Elípticas (E), Lenticulares (S0), Espirales (S), Espirales Barradas (SB), e Irregulares (Irr). Estas galaxias no se incluyen en el diagrama del diapasón de Hubble. Fig. 1



**Figura 1. Diapasón de Hubble.**

Elípticas (E). Características por ser agrupaciones de estrellas viejas. En este tipo de galaxias parece no haber polvo. La diferencia entre la clasificación de estas galaxias radica en sus excentricidades. Una galaxia circular sería E0, entre más crece el dígito (E1, E2,...,E7), más excéntrica es la galaxia. El valor numérico, EN, es dado por la siguiente

relación:  $N = 10(1 - \frac{b}{a})$ , donde  $a$  es el eje mayor, y  $b$  el eje menor.

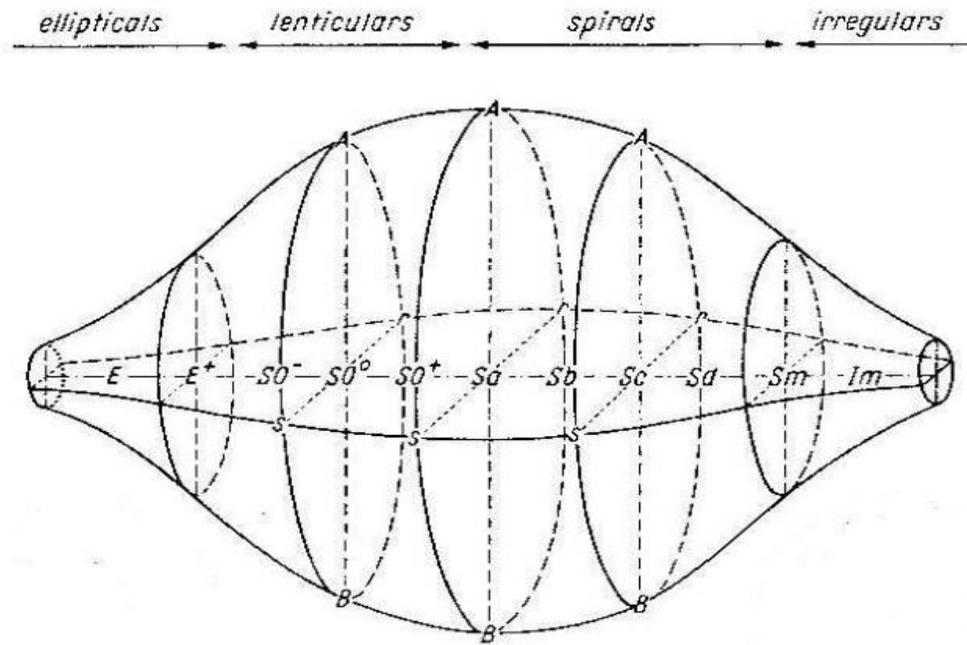
Espirales (S, SB). Presentan un bulbo similar a una galaxia elíptica, así como un disco estelar, el cual puede poseer un patrón espiral definido o poco definido. El patrón espiral es usualmente trazado por regiones de formación estelar. Este disco puede o no presentar una estructura “barrada”. De cada uno de estos dos tipos hay tres estados de acuerdo a su concentración central de luz y la estructura de los brazos espirales, esto es,

galaxias Sa/SBa tienen un núcleo grande y brazos espirales cerrados y en el otro extremo galaxias, mientras Sc/SBc tienen un bulbo central pequeño y brazos espirales mas abiertos. El estado intermedio entre las galaxias Sa/SBa y Sc/SBc son las galaxias Sb/SBb.

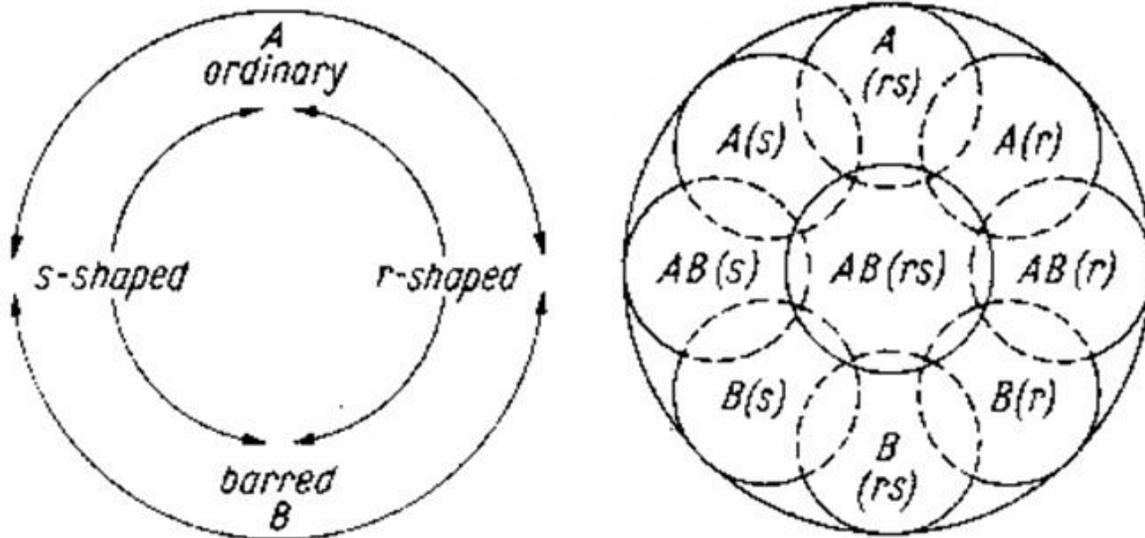
Las galaxias lenticulares (S0) no presentan rastros de polvo, aunque poseen un disco plano estelar sin estructura espiral.

Sistema de Clasificación de De Vaucouleurs.

El esquema de clasificación de De Vaucouleurs (1959) se presenta en la siguiente figura. Este sistema tiene tres ejes para clasificar galaxias: en el eje principal se encuentra la secuencia: E-E<sup>+</sup>-S0<sup>-</sup>-S0<sup>0</sup>-S0<sup>+</sup>-Sa-Sb-Sc-Sd-Sm-Im. Donde la “m” significa magallánica refiriéndose a las nubes de Magallanes, el “-” significa temprano (suave) y el “+” significa tardío (irregular). Un segundo eje indica si la galaxia contiene barra (SB), no tiene (SA) o es muy débil (SAB). Por ultimo hay un eje que describe objetos que muestran anillos (r) o son puramente espirales (s) o con características intermedias (rs).



**Figura 2. Diagrama tri-dimensional de clasificación de De Vaucouleurs.**



**Figura 3. Diagrama de los componentes barra y anillo del sistema de clasificación de De Vaucouleurs.**

El eje principal de este sistema puede ser representado por un parámetro T. Este parámetro es definido en la siguiente tabla que muestra la relación entre la clasificación de Hubble, y el valor T. Los valores de T están fuertemente correlacionados con los colores.

Hubble	E	E/S0	S0	S0/a	Sa	Sa-b	Sb	Sb-c	Sc	Sc-Irr	Irr
T	-5	-3	-2	0	1	2	3	4	6	8	10

Otros sistemas de clasificación

Existen otros sistemas de clasificación, pero usados con menor frecuencia. Mencionamos por ejemplo, el sistema de clasificación de Yerkes o Morgan (Morgan, 1958, 1959), el cual está basado en la morfología y la concentración central de luz de las galaxias. Este sistema unidimensional sigue la secuencia a-f-g-k con objetos de tipo a teniendo una débil concentración de luz hasta k con la mas alta. Además, esta clasificación muestra que galaxias con alta concentración tienen una población estelar más vieja y galaxias con baja, la población estelar dominante es más joven, o el de Van Der Bergh (1960a,b). El cual consta de una clasificación de galaxias espirales dependientes de su luminosidad, adicionando a la secuencia de Hubble las siguientes clasificaciones: luminosidad clase I para súper gigantes, II (gigantes brillantes), III (gigantes), IV (subgigantes) y V (enanas).

**III:** Casi la totalidad de los objetos del firmamento con excepción del Sol, la Luna, y objetos casuales, como cometas, son observados como puntos (objetos puntuales) a ojo desnudo. Con el uso del telescopio podemos llegar a resolver volumen en objetos muy cercanos (como los planetas), muy brillantes (como las nebulosas), o de gran tamaño (como las galaxias). Por lo regular empleamos medidas de flujo (intensidad) puntuales, asignándole así una magnitud a los objetos celestes dependiendo de su brillo puntual. En estos casos especiales en los que nuestro objeto posee un volumen aparente no podemos hablar del brillo de un objeto para cualquier punto, ya que la intensidad de brillo varia dependiendo de la región del objeto que observemos.

Para automatizar los esquemas de clasificación los cuales están basados en cantidades morfológicas, hacemos uso de la fotometría de superficie, que es usada para estudiar objetos extendidos (no puntuales) como las galaxias. En la fotometría de galaxias se define el término brillo superficial, como el flujo por unidad de ángulo solidó, teniendo así unidades de mag/arcsec<sup>2</sup>. Por lo tanto, a primer orden, el brillo superficial es independiente de la distancia al objeto.

Todo objeto presenta mayor brillo en su centro, y conforme uno se aleja esta luminosidad decrece, hasta llegar a cero en el infinito. Este rango de decreción (representado por funciones matemáticas) es conocido como perfil de brillo superficial, también conocido como luminosidades o brillos integrados.

Perfil de Sérsic.

La distribución estelar en bulbos y galaxias elípticas es bien ajustada por la función Sérsic (Sérsic, 1968). Las propiedades de los perfiles radiales de brillo superficial de galaxias son obtenidas usando la ley introducida primeramente por Sérsic en 1968, también conocida como la ley  $r^{1/n}$  o ley generalizada de De Vaucouleurs. Esta ley como perfil de intensidad está definida como:

$$I(R) = I_e e^{-k[(\frac{R}{R_e})^{1/n} - 1]} \dots\dots\dots(1)$$

Donde  $R_e$  es el radio efectivo, o el radio en el cual la galaxia emite la mitad de su luminosidad,  $I_e$  es el brillo superficial a  $R_e$ . El valor de “n” determina el grado de concentración del perfil, dicho perfil estará empinado o menos concentrado para altos  $n$  y es plano o más concentrado para bajos  $n$ . Por otra parte “k” es un parámetro positivo que depende del valor de  $n$ , para que pueda seguirse cumpliendo la definición de  $R_e$  y  $I_e$  ( $I_e$  tenga el brillo superficial a  $R_e$ ). Particularmente, casos especiales son interesantes cuando el perfil del bulbo es  $r^{1/4}$  para  $n = 4$  (De Vaucouleurs, 1948) y el perfil del disco exponencial para  $n = 1$ .

Ahora bien, el flujo total (o el flujo integrado hasta un radio infinito) es:

$$F(\infty) = 2\pi m q I_e \text{Re}^2 \frac{e^k}{(k)^{2n}} \Gamma(2n), \text{ donde } \Gamma(2n) \text{ es la función Gamma. A continuación se}$$

muestra como integrar el perfil de Sérsic para obtener el flujo total. La integral de la ecuación 1 sobre un área con radio R representa el flujo total hasta ese radio, representado a continuación en la ecuación 2.

$$F(< R) = \int_0^R 2\pi q I(R') R' dR' \dots\dots\dots(2)$$

Donde “q” es el cociente de los ejes mayor y menos. De sustituir 1 en 2 obtenemos:

$$F(< R) = \int_0^R 2\pi q R' I_e e^{-k[(\frac{R}{\text{Re}})^{1/n} - 1]} dR' \dots\dots\dots(3)$$

Haciendo un cambio de variable obtenemos:

$$x = k(\frac{R'}{\text{Re}})^{1/n}, R' = \text{Re} \frac{x^n}{k^n}, dR' = \frac{\text{Re}}{k^n} n x^{n-1} dx.$$

$$F(< R) = 2\pi q I_e e^k \int_0^x \frac{\text{Re}}{k^n} x^n e^{-x} \frac{\text{Re}}{k^n} n x^{n-1} dx \dots\dots\dots(4)$$

Agrupamos términos semejantes para obtener:

$$F(< R) = \frac{2\pi q n I_e e^k \text{Re}^2}{k^{2n}} \int_0^x x^{2n-1} e^{-x} dx \dots\dots\dots(5)$$

$$F(< R) = \frac{2\pi q n I_e e^k \text{Re}^2}{k^{2n}} \int_0^{k[(\frac{R}{\text{Re}})^{1/n}]} x^{2n-1} e^{-x} dx \dots\dots\dots(6)$$

Recordemos ahora la definición de la función Gamma incompleta:

$$\gamma(a, x) \equiv \int_0^x t^{a-1} e^{-t} dt \dots\dots\dots(7)$$

Simplificando así (6) en:

$$F(< R) = 2\pi m q I_e \text{Re}^2 \frac{e^k}{(k)^{2n}} \gamma(2n, k(\frac{R}{\text{Re}})^{1/n}) \dots\dots\dots(8)$$

Por lo que el flujo total esta dado por:

$$F(\infty) = F_T = 2\pi m q I_e \text{Re}^2 \frac{e^k}{(k)^{2n}} \Gamma(2n) \dots\dots\dots(9)$$

Donde  $\Gamma(2n)$  es la definición de la función Gamma:  $\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt$

### Perfil Exponencial.

Los perfiles radiales de brillo superficial de los discos de las galaxias espirales son bien ajustados por la ley exponencial (Freeman, 1970):

$$I(R) = I_0 e^{\left(-\frac{R}{R_s}\right)}$$

Donde  $I_0$  es el brillo superficial central y  $R_s$  es la longitud de escala del disco, el cual representa el radio del disco que encierra el  $I_0/e$  de la luz. Por lo que el flujo total es

$$\text{dado por: } F_{\text{exp}} = 2\pi q R_s^2 I_0 \dots\dots\dots(10)$$

Este estudio pretende realizar un minucioso estudio cuantitativo para la clasificación de galaxias basado en el cociente bulbo/disco, caracterizado con el cociente de las escalas del bulbo y el disco ( $R_e/R_s$ ). El ajustar bidimensionalmente los perfiles de brillo superficial de varias galaxias permitirá realizar una importante contribución para futuros sistemas taxonómicos. Hasta el momento las mas conocidas clasificaciones galácticas han sido primordialmente artísticas y tomando en cuenta la morfología en luz visible. Se pretende que este estudio presente la posibilidad de especificar matemáticamente propiedades físicas de un buen número de galaxias para independizar la clasificación de la apreciación del observador y poseer así el poder de la clasificación universal, como lo es una clasificación matemáticamente formal. De igual manera se pretende complementar el trabajo haciendo el estudio en diferentes longitudes de onda.

### **Metodología.**

Una vez contemplado el escenario del catalogo requerido (Zsolt Frei), se obtuvo una muestra representativa que constaba de 88 galaxias (ver Apéndice “A”). De dicha muestra se obtuvo la información correspondiente a cada una de las galaxias en formato FITS. De los filtros usados en el catalogo (g, r, i ó J y R) se escogió hacer uso de las imágenes obtenidas haciendo uso de los filtros r y R.

Los ajustes bidimensionales de brillo superficial hechos a las galaxias se realizaron usando el paquete para distribución Linux llamado GALFIT (Peng et al. 2002). Cada uno de los elementos de la muestra fue analizada haciendo uso de las funciones de Sérsic, exponencial, y la función “Sky” (cielo) del programa. Cada una de estas funciones (todas ellas incorporadas en el paquete GALFIT) incorpora elementos para realizar la aproximación numérica al modelo de la galaxia en cuestión, aumentando así los grados de libertad.

GALFIT es un algoritmo para ajustar modelos bidimensionales axisimétricos de galaxias directamente a las imágenes (Peng et al., 2002). Las funciones de los modelos son de las mas comunes en la literatura: Sérsic/de Vaucoulers, exponencial, Nuker, Gaussian, King, Moffat y PSF, así como la opción “Sky” o cielo, el cual hace referencia a la oscuridad del cielo y las cuentas que este provoca en la lectura del CCD. Además de GALFIT hay otras rutinas que ayudan a modelar perfiles galácticos como Ellipse

(Jedrzejewski, 1987), GIM2D (Simard, 1998) y mas recientemente BUDDA (De Souza, Gadotti & Dos Anjos, 2004). Se decidió usar GALFIT por realizar el ajuste bidimensionalmente, así como usar un algoritmo en los procesos de minimización mucho más veloz que GIM2D. Otra razón de peso es el hecho de que GALFIT puede ajustar más de dos funciones de brillo superficial simultáneamente. Las limitaciones de GALFIT son conocidas (problemas para ajustar galaxias irregulares o no axisimétricas) y fueron consideradas al realizar este estudio.

La siguiente explicación acerca del funcionamiento de GALFIT fue obtenida del trabajo del Ing. Christopher Añorve Solano <sup>[1]</sup>. El funcionamiento de GALFIT es de la siguiente forma: durante el ajuste el  $\chi^2_v$  es minimizado, el cual esta definido como:

$$\chi^2_v = \frac{1}{N_{dof}} \sum_{x=1}^{nx} \sum_{y=1}^{ny} \frac{(\text{flujo}_{x,y} - \text{mod}_{x,y})^2}{\sigma_{x,y}^2}$$

Donde  $N_{dof}$  es el numero de grados de libertad en el ajuste;  $nx$  y  $ny$  son las dimensiones en los ejes  $x$  e  $y$  respectivamente;  $\text{flujo}_{x,y}$  es el flujo de la imagen en el pixel  $(x; y)$ .  $\text{Mod}_{x,y}$  es la suma de todas las funciones bidimensionales empleadas en el ajuste. La incertidumbre esta como función de la posición del píxel  $\sigma_{x,y}$  y es el error de Poisson en cada pixel. GALFIT calcula  $\sigma_{x,y}$  en base a la ganancia y el ruido de lectura que se encuentran en el Header de la imagen. En seguida se muestran los pasos de como GALFIT ajusta las galaxias. El programa itera los pasos 3 a 8 hasta converger:

- 1) Normaliza la imagen de entrada del PSF y lo prepara para convolución.
- 2) Se subtrae la sección de la imagen que se pretende ajustar.
- 3) Crea los modelos de brillo superficial y deriva sus imágenes basándose en los parámetros iniciales o nuevos.
- 4) Se extrae la región de convolución de los modelos y de las imágenes derivadas de estos.
- 5) Una vez que se extrajeron las regiones, se convolucionan con el PSF utilizando la transformada rápida de Fourier.
- 6) Se devuelve la región de convolucionada del paso anterior a los modelos y a la imagen
- 7) Se comparan los datos de la imagen real con la de los modelos derivados y se minimizan los residuos. La minimización es hecha usando el algoritmo Levenberg-Marquardt.
- 8) Itera hasta paso tres hasta que la convergencia es alcanzada. GALFIT se detiene cuando  $\chi^2_v$  no cambia más de cinco partes en  $10^4$  para cinco iteraciones.
- 9) Se proporciona imágenes de salida y genera archivos de parámetros finales.

Una vez que se alcanzo la optimización, GALFIT estima las incertidumbres analíticamente, obtenidas resolviendo la matriz de covarianza.

Todos los “headers” de las imágenes fueron modificados para que contuvieran la información requerida por GALFIT. Dicha información fue obtenida de la guía para el usuario ([http://www.astro.princeton.edu/~frei/galaxy\\_catalog.html](http://www.astro.princeton.edu/~frei/galaxy_catalog.html)) del catalogo Zsolt Frei. GALFIT corre usando un “template” o plantilla, un ejemplo de dicha plantilla es proporcionado en el Apéndice B y la explicación detallada puede ser encontrada en: <http://zwicky.as.arizona.edu/~cyp/work/galfit/galfit.html>, la pagina de GALFIT. A grandes rasgos en la plantilla se incorporan datos tales como el archivo de entrada, el nombre y localización deseado del de salida, el área que deseamos analizar etc. Posteriormente se dan aproximaciones iniciales de parámetros tales como el centro de la galaxia, o el índice de Sérsic. Posteriormente estos valores serán iterados hasta darnos el valor obtenido por la convergencia de dichas iteraciones.

GALFIT crea un nuevo archivo FITS, que consta en realidad de tres imágenes:

1. La región seleccionada de la imagen original.
  2. El modelo final de la galaxia en dicha región.
  3. La imagen residual obtenida de restar la imagen 2 a la 1.
- Ejemplos de dichas imágenes se pueden encontrar en el Apéndice C.

Una vez obtenida una buena aproximación se cambiaban los valores de la platilla por los obtenidos. Una vez que el resultado no cambiaba (usualmente después de dos corridas de GALFIT) se liberaba el parámetro del ángulo de posición (position angle) de la función exponencial para así compararlo con el dado por el catalogo Zsolt Frei y se salvaban los resultados.

## Resultados.

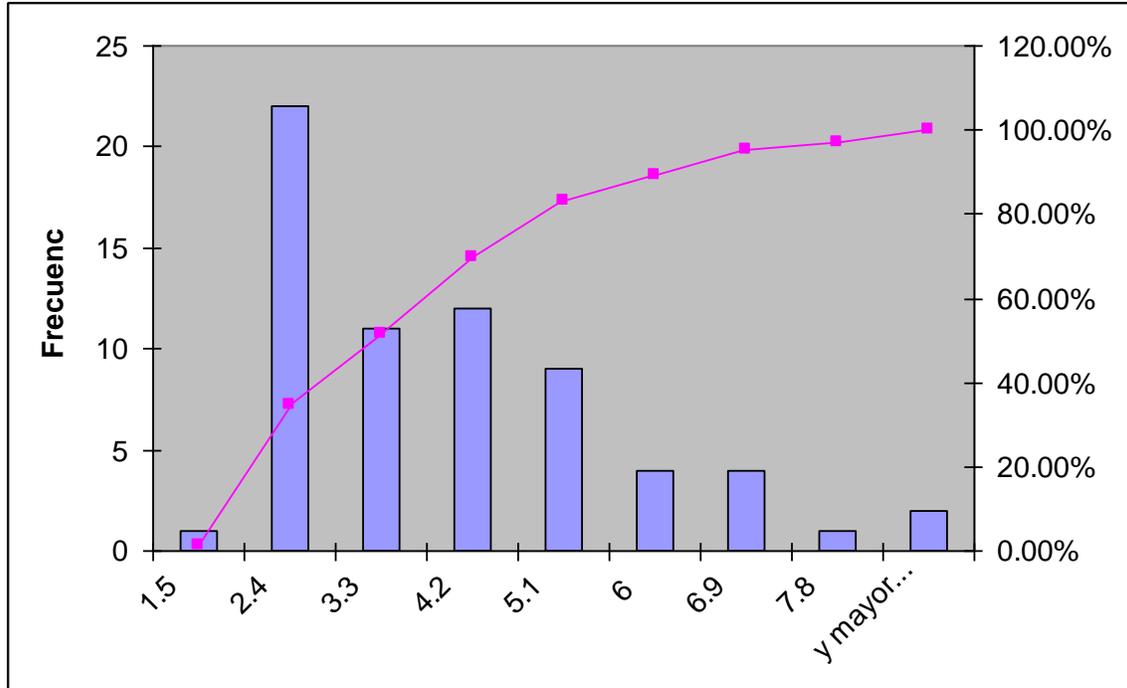
Se muestran ejemplos de la información devuelta (Resultados, valor obtenido al finar de la convergencia), así como el registro de resultados (fit.log) por GALFIT en el Apéndice D y E respectivamente.

De las 88 galaxias analizadas se considera que los resultados obtenidos poseen las siguientes propiedades:

- 10 tenían un ángulo de posición muy diferente.
- 5 tenían mucho polvo o una barra demasiado prominente lo cual daba un  $\chi^2$  demasiado alto.
- 5 fotografías eran malas o estaban manchadas.
- 2 resultados malos e incomprensibles.
- 66 de los resultados fueron aceptados y considerados como buenos.

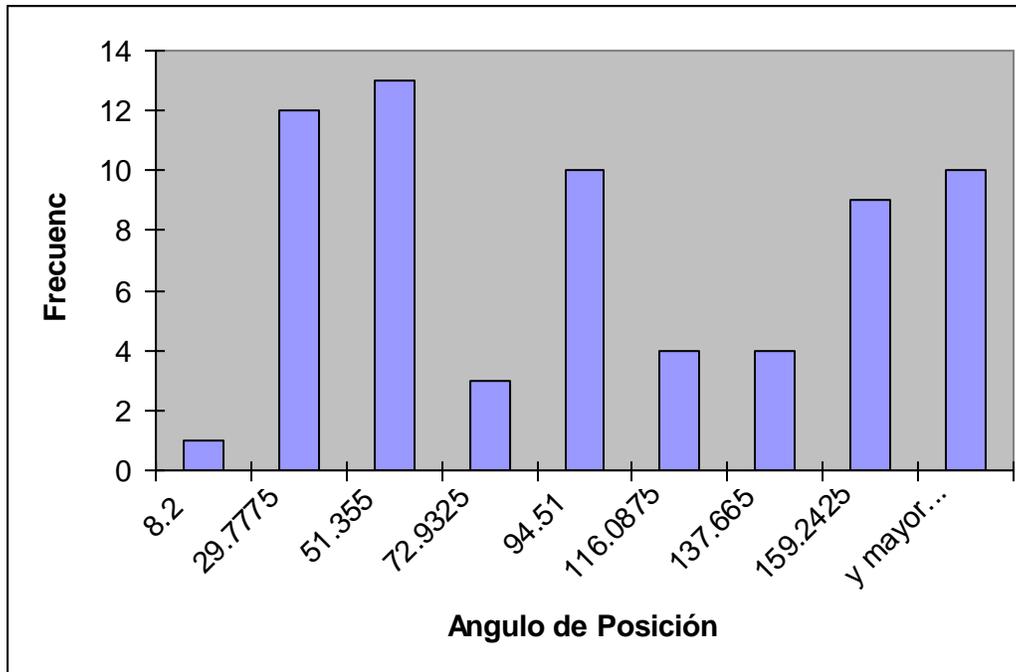
De las 66 galaxias “aceptables” se obtuvo un  $\chi^2$  mínimo de 1.5, y un  $\chi^2$  máximo de 8.7. Siendo el valor promedio de  $\chi^2$  igual a 3.58.

De las 66 galaxias aceptables el promedio de la diferencia entre el ángulo de posición obtenido y el dado por el catalogo fue de  $6.91^\circ$ . Siendo la mayor diferencia de  $24.14^\circ$  y la menor de  $0.04^\circ$ . Dichos resultados se presentan a continuación en los siguientes histogramas.



**Histograma 1. Frecuencia de valores de  $\chi^2$**

Donde podemos observar que más del 50% de los datos poseen un  $\chi^2$  menor a 4.2.

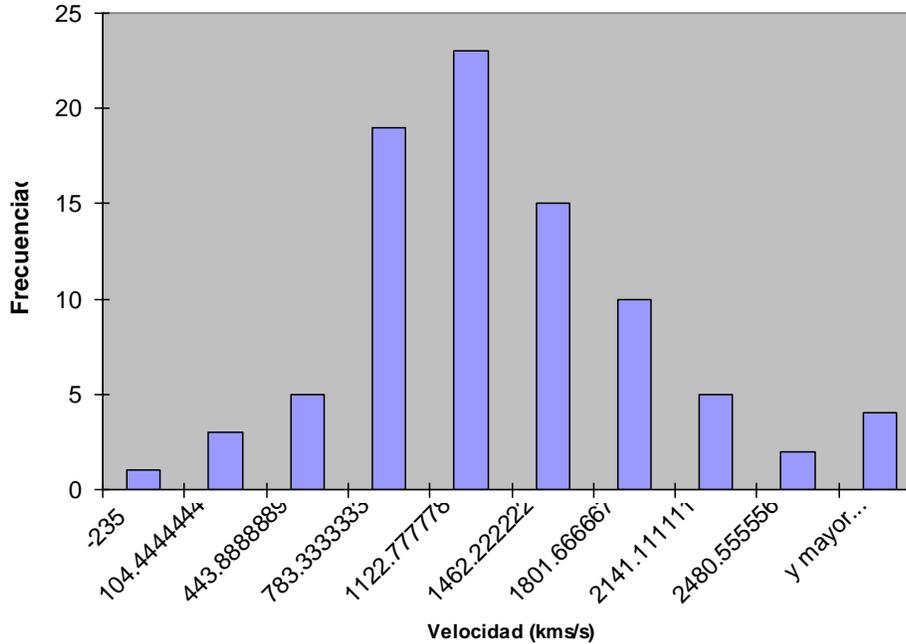


**Histograma 2. Frecuencia de ángulos de Posición.**

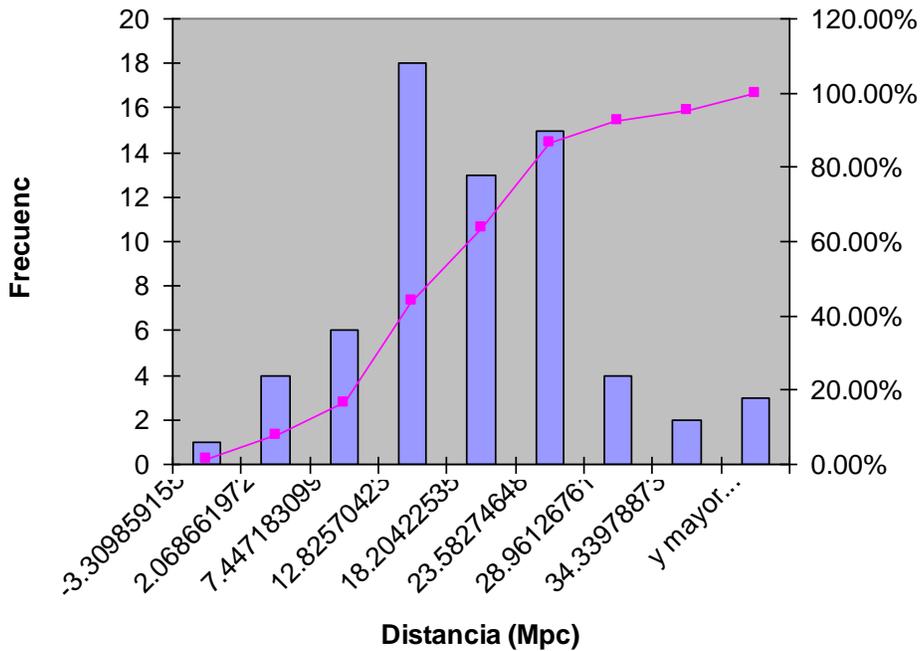
Debido a la necesidad de obtener resultados de alta resolución se trabajó con galaxias cercanas, ninguna de ellas excediendo los 40 Mpc. Para obtener las distancias a dichas galaxias se realizó una aproximación sencilla, dividiendo la velocidad a la que se aleja cada galaxia de la nuestra, y dividiéndolo entre la constante de Hubble (71 km/s/Mpc). Haciendo uso de la siguiente formula:  $v = H_0 D$ . A continuación se presenta el histograma de frecuencias de los valores de velocidades de recesión y distancia, así como una tabla con el análisis estadístico de las distancias a las galaxias de la muestra.

Media	15.99
Error típico	1.01
Mediana	15.14
Moda	1.85
Desviación estándar	8.19
Rango	37.87
Mínimo	1.85
Máximo	39.72

**Tabla 1. Análisis Estadístico descriptivo de las distancias de la muestra de galaxias.**



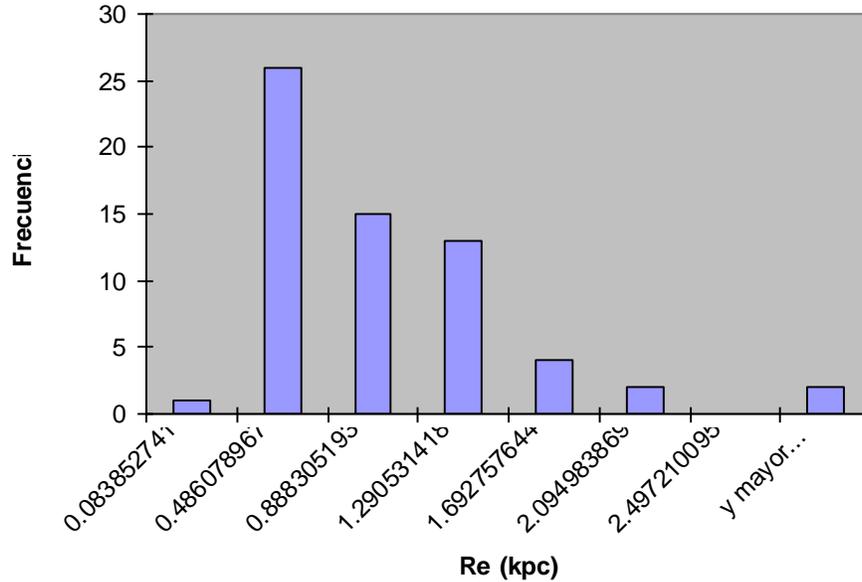
**Histograma 3. Frecuencia de valores Velocidad**



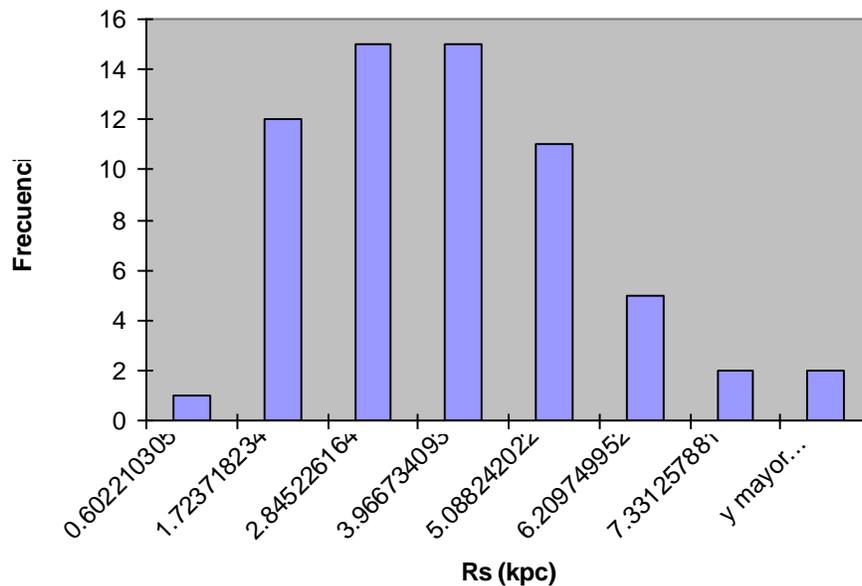
**Histograma 4. Frecuencia de valores de distancia.**

Al tratarse de galaxias cercanas nos percatamos que tres de ellas (NGC 3031, 4192, y 4569) tienen una velocidad negativa, es decir que se están acercando a nosotros, dichas galaxias no pueden ser consideradas en esta aproximación cosmológica.

Haciendo uso de los valores de radio efectivo proporcionados por GALFIT, se hizo uso de las escalas de conversión mencionadas por Zsolt Frei (1.19 y 1.35 arcsec/pix para las imágenes obtenidas en Palomar y Lowell respectivamente). Presentándose a continuación los valores de radio efectivo de las 63 galaxias.



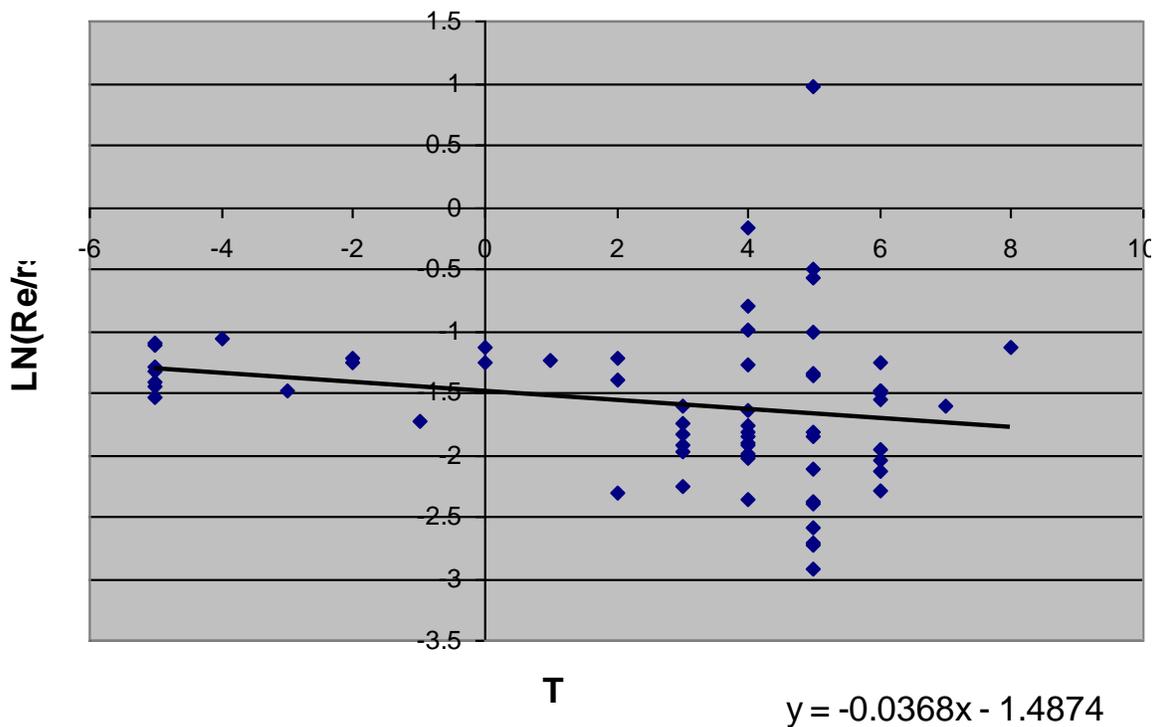
**Histograma 5. Frecuencia en Radio Efectivo del Bulbo.**



**Histograma 6. Frecuencia en Radio Efectivo del Disco.**

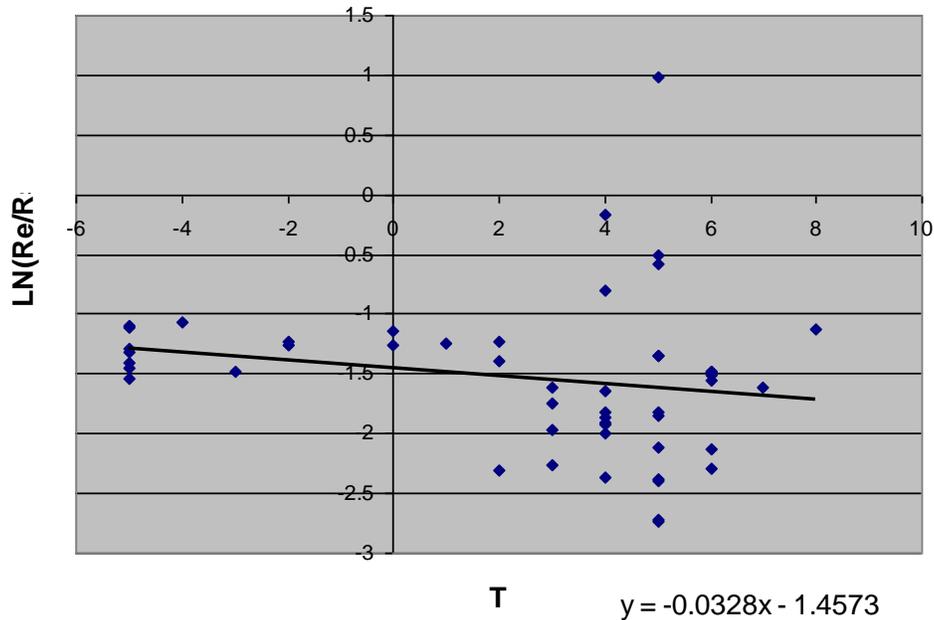
Tomando en cuenta teorías de formación y estructuras galácticas jerárquicos (Baugh 2006), complementados con modelos cosmológicos de materia oscura fría (CDM, por sus siglas en inglés) podemos decir que galaxias mas viejas, es decir

poblaciones estelares ricas en elementos pesados y sin rastros de gas, polvo, o formación estelar no presentaban una estructura de disco, y que conforme el valor del parámetro “T” de la clasificación de De Vaucouleurs aumenta, aparecía el componente del disco en la estructura, donde se encontraban regiones ricas en polvo, gas y formación estelar. De igual manera se encontró refuerzo al ser demostrado que incluso las galaxias elípticas poseen propiedades de disco, en los resultados obtenidos McDermid et al. (2004), lo cual nos ha permitido extender la siguiente relación a las galaxias elípticas. Encontrando relación entre los perfiles de velocidad (Demostrando la existencia de componentes Bulbo/Disco inclusive en galaxias clasificadas como elípticas), y los de brillo superficial (ajustados con los perfiles de Sérsic y Exponencial respectivamente), La relación logarítmica del cociente  $\frac{Re}{Rs}$ , donde Re y Rs son los parámetros radio efectivo (en kpc) de los perfiles de brillo superficial del bulbo y del disco. Podemos observar una tendencia continua decreciente.



**Grafica 1. Relación T VS B/D, incluyendo galaxias barradas.**

Al tratarse de un método que emplea una descomposición bidimensional de brillo superficial, las estructuras barradas de las galaxias “contaminan” el perfil de brillo superficial que al obtenerse provee de una clasificación cuantitativa, dependiente del cociente B/D. De igual manera las barras parecieran ser consistentes con las teorías de evolución galáctica, en las que la barra aparece y desaparece conforme el tiempo pasa, inclusive dando la impresión de causar “aleteos” con los brazos del disco, los cuales también contribuyen directamente en la clasificación morfológica y el perfil de brillo superficial debido a la cantidad de luz que estos emiten. Debido a estas suposiciones, se han descartado las galaxias barradas (SB) en la siguiente grafica.



**Grafica 2. Relación T VS B/D, excluyendo galaxias barradas.**

## Conclusiones.

La relación Bulbo/Disco es indicador importante cuya aplicación se había limitado a las galaxias espirales, pues los discos dentro de las elípticas escapan la inspección visual del clasificador. Ahora podemos decir que dicho indicador puede aplicarse para toda la secuencia de Hubble. Esto, a su vez, puede estar relacionado con características evolutivas de la galaxia misma. Por lo tanto podemos expresar la morfología en función del Re/Rs:

$$\ln\left(\frac{Re}{Rs}\right) = -0.33T - 1.46$$

El propiciar por primera vez resultados que demuestran un continuo en la relación Bulbo/Disco con el parámetro morfológico T en galaxias espirales, es decir, incluyendo una muestra representativa de galaxias en las cuales el disco representaba la componente dominante. Siendo esto claramente demostrado en los histogramas de Radio efectivo, cumpliendo así el objetivo de dar continuación y complementar los resultados obtenidos por Añorve Solano<sup>[1]</sup> dando extensión a su estudio hacia un rango más amplio de muestras de dinámica galáctica. Tenemos que destacar que la relación que hemos obtenido tiene una dispersión grande, lo que es importante destacar es que por primera vez se obtiene un patrón cuantitativo que reproduce la definición impuesta por Hubble.

El uso de datos de alta resolución como los que han sido empleados, debido a la selección de la muestra de este trabajo permite penetrar la brecha entre la astronomía de

precisión y los bloques más básicos y fundamentales de la cosmología. De igual manera este trabajo plantea las distancias a las galaxias muestra del catalogo seleccionado

Se plantea como posibilidad de trabajo a futuro el hacer uso del método presentado en este trabajo, el cual será empleado de la misma manera en los datos obtenidos en infra rojo y los perfiles lumínicos de brillo superficial de ambas longitudes de onda, motivado por encontrar una relación entre las emisiones a diferentes regiones del espectro electromagnético.

## APENDICE A.

```
=====
# IMAGE and GALFIT CONTROL PARAMETERS
A) imagenes/Zsolts/n6503_IR.fits # Input data image (FITS file)
B) imagenes/Zsolts/n6503_IR-out.fits # Output data image block
C) none # Sigma image name (made from data if blank or "none")
D) none # Input PSF image and (optional) diffusion kernel
E) 1 # PSF fine sampling factor relative to data
F) none # Bad pixel mask (FITS image or ASCII coord list)
G) none # File with parameter constraints (ASCII file)
H) 1 313 1 313 # Image region to fit (xmin xmax ymin ymax)
I) 100 100 # Size of the convolution box (x y)
J) 26.563 # Magnitude photometric zeropoint
K) 0.05 0.05 # Plate scale (dx dy) [arcsec per pixel]
O) regular # Display type (regular, curses, both)
P) 0 # Create output only? (1=yes; 0=optimize)
S) 0 # Modify/create objects interactively?
```

### # INITIAL FITTING PARAMETERS

```
#
# For object type, the allowed functions are:
# nuker, Sérsic, expdisk, devauc, king, psf, gaussian, moffat,
# ferrer, powSérsic, sky, and isophote.
#
# Hidden parameters will only appear when they're specified:
# C0 (diskyness/boxyness),
# Fn (n=integer, Azimuthal Fourier Modes),
# R0-R10 (PA rotation, for creating spiral structures).
# Objtype: Fit? Parameters
# Column 2: Parameter value
# Column 3: Fit=1 Fixed=0 (1=modifica 0=deja)
# Column 4: Parameter name
#
# -----
# par) par value(s) fit toggle(s) # parameter description
# -----
```

### # Object number: 1

```
0) Sérsic # object type (bulbo)
1) 109.8 157.98 1 1 # position x, y
3) 16.58 1 # Integrated magnitude
4) 36.52 1 # R_e (half-light radius) [pix]1
5) 0.65 1 # Sérsic index n (de Vaucouleurs n=4)
6) 0.0000 0 # -----
7) 0.0000 0 # -----
```

8) 0.3 1 # axis ratio (b/a)  
9) 123.0 0 # position angle (PA) [deg: Up=0, Left=90]  
10) 0.0000 0 # diskyness(-)/boxyness(+)  
Z) 0 # output option (0 = resid., 1 = Don't subtract)

# Object number: 2

0) expdisk # object type (disco)  
1) 85.13 145.86 1 1 # position x, y  
3) 16.83 1 # Integrated magnitude  
4) 59.1 1 # R\_e (half-light radius) [pix]  
5) 0.0000 0 # ----  
6) 0.0000 0 # ----  
7) 0.0000 0 # ----  
8) 0.4 1 # axis ratio (b/a)  
9) 123.0 1 # position angle (PA) [deg: Up=0, Left=90]  
10) 0.0000 0 # diskyness(-)/boxyness(+)  
Z) 0 # output option (0 = resid., 1 = Don't subtract)

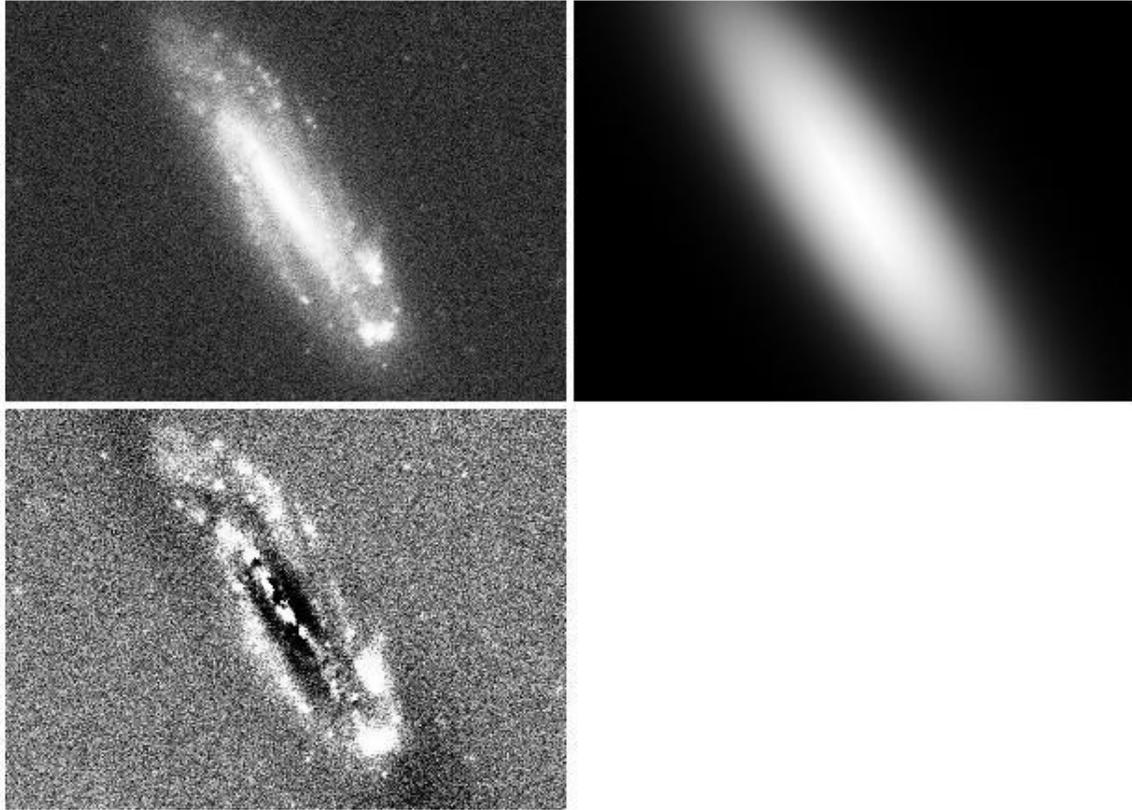
# Object number: 3

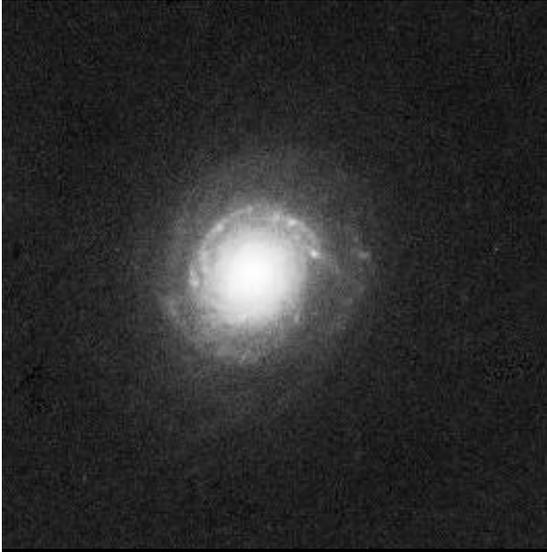
0) sky # object type  
1) 1057.8 0 # sky background at center of fitting region [ADUs]  
2) 0.0000 0 # dsky/dx (sky gradient in x)  
3) 0.0000 0 # dsky/dy (sky gradient in y)  
Z) 0 # output option (0 = resid., 1 = Don't subtract)

---

---

**APENDICE B.**

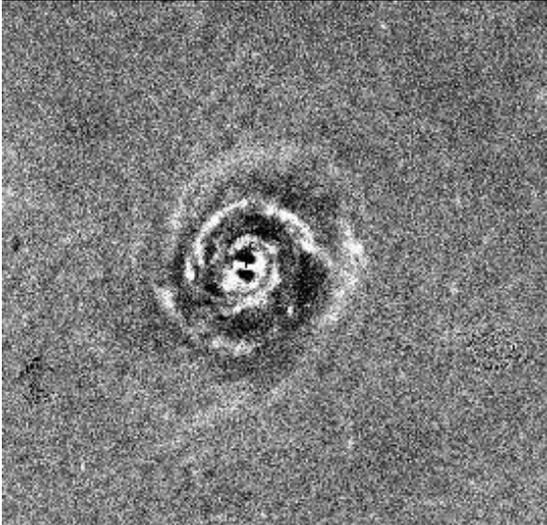




**Imagen Original.**



**Perfil de Brillo Superficial ajustado  
por GALFIT**



**Residuo**

## Apéndice C.

Chi<sup>2</sup>/nu = 3.283, Chi<sup>2</sup> = 527899.438, Ndof = 160789

=====  
=====

### # IMAGE and GALFIT CONTROL PARAMETERS

A) imagenes/Zsolts/n4178\_pr.fits # Input data image (FITS file)  
B) imagenes/Zsolts/n4178\_pr-out.fits # Output data image block  
C) none # Sigma image name (made from data if blank or "none")  
D) none # # Input PSF image and (optional) diffusion kernel  
E) 1 # PSF oversampling factor relative to data  
F) none # Bad pixel mask (FITS image or ASCII coord list)  
G) none # File with parameter constraints (ASCII file)  
H) 1 401 1 401 # Image region to fit (xmin xmax ymin ymax)  
I) 100 100 # Size of the convolution box (x y)  
J) 26.563 # Magnitude photometric zeropoint  
K) 0.050 0.050 # Plate scale (dx dy)  
O) regular # Display type (regular, curses, both)  
P) 0 # Create output only? (1=yes; 0=optimize)  
S) 0 # Modify/create objects interactively?

### # INITIAL FITTING PARAMETERS

#  
# For object type, the allowed functions are:  
# nuker, Sérsic, expdisk, devauc, king, psf, gaussian, and moffat.

# Objtype: Fit? Parameters

# Object number: 1

0) Sérsic # Object type  
1) 198.9766 203.6471 1 1 # position x, y  
3) 17.8598 1 # total magnitude  
4) 16.1009 1 # R\_e  
5) 0.6504 1 # exponent (de Vaucouleurs = 4)  
6) 0.0000 0 # ----  
7) 0.0000 0 # ----  
8) 0.1050 1 # axis ratio (b/a)  
9) 30.0000 0 # position angle (PA)  
10) 0.0000 0 # diskiness(-)/boxiness(+)  
Z) 0 # Output option (0 = residual, 1 = Don't subtract)

# Object number: 2

0) expdisk # Object type  
1) 202.0166 201.4709 1 1 # position x, y  
3) 14.4600 1 # total magnitude

4) 49.6059 1 # Rs  
5) 0.0000 0 # ----  
6) 0.0000 0 # ----  
7) 0.0000 0 # ----  
8) 0.2684 1 # axis ratio (b/a)  
9) 34.7597 1 # position angle (PA)  
10) 0.0000 0 # diskiness(-)/boxiness(+)  
Z) 0 # Output option (0 = residual, 1 = Don't subtract)

# Object number: 3

0) sky # Object type  
1) 1100.1300 0 # sky background at center of fitting region  
2) 0.0000 0 # dsky/dx (sky gradient in x)  
3) 0.0000 0 # dsky/dy (sky gradient in y)  
Z) 0 # Output option (0 = residual, 1 = Don't subtract)

---

## APENDICE D

---

Input image : imagenes/Zsolts/n4178\_pr.fits[1:401,1:401]  
Init. par. file : tem  
Restart file : galfit.01  
Output image : imagenes/Zsolts/n4178\_pr-out.fits

Sérsic : (201.00, 201.00) 17.84 16.11 0.86 0.11 30.00 0.00  
(0.00, 0.00) 0.01 0.21 0.01 0.00 0.00 0.00  
expdisk : (201.00, 201.00) 14.46 48.83 0.29 30.00 0.00  
(0.00, 0.00) 0.00 0.15 0.00 0.00 0.00  
sky : [201.00, 201.00] 1100.13 0.00e+00 0.00e+00  
0.00 0.00e+00 0.00e+00  
Chi<sup>2</sup> = 561829.58654, ndof = 160794  
Chi<sup>2</sup>/nu = 3.494

---

Input image : imagenes/Zsolts/n4178\_pr.fits[1:401,1:401]  
Init. par. file : tem  
Restart file : galfit.02  
Output image : imagenes/Zsolts/n4178\_pr-out.fits

Sérsic : (198.67, 204.14) 17.78 16.60 0.65 0.11 30.00 0.00  
(0.04, 0.07) 0.01 0.12 0.01 0.00 0.00 0.00  
expdisk : (202.01, 201.57) 14.46 49.15 0.28 30.00 0.00  
(0.05, 0.09) 0.00 0.11 0.00 0.00 0.00  
sky : [201.00, 201.00] 1100.13 0.00e+00 0.00e+00  
0.00 0.00e+00 0.00e+00  
Chi<sup>2</sup> = 552337.45709, ndof = 160790  
Chi<sup>2</sup>/nu = 3.435

---

Input image : imagenes/Zsolts/n4178\_pr.fits[1:401,1:401]  
Init. par. file : tem  
Restart file : galfit.03  
Output image : imagenes/Zsolts/n4178\_pr-out.fits

Sérsic : (198.66, 204.15) 17.78 16.60 0.65 0.11 30.00 0.00  
(0.04, 0.07) 0.01 0.12 0.01 0.00 0.00 0.00

expdisk : (202.01, 201.57) 14.46 49.15 0.28 30.00 0.00  
          (0.05, 0.09) 0.00 0.11 0.00 0.00 0.00  
sky      : [201.00, 201.00] 1100.13 0.00e+00 0.00e+00  
                          0.00 0.00e+00 0.00e+00  
Chi^2 = 552337.79970, ndof = 160790  
Chi^2/nu = 3.435

-----  
-----  
Input image   : imagenes/Zsolts/n4178\_pr.fits[1:401,1:401]  
Init. par. file : tem  
Restart file   : galfit.04  
Output image   : imagenes/Zsolts/n4178\_pr-out.fits

Sérsic : (198.98, 203.65) 17.86 16.10 0.65 0.11 30.00 0.00  
          (0.04, 0.07) 0.01 0.13 0.01 0.00 0.00 0.00  
expdisk : (202.02, 201.47) 14.46 49.61 0.27 34.76 0.00  
          (0.06, 0.09) 0.00 0.11 0.00 0.06 0.00  
sky      : [201.00, 201.00] 1100.13 0.00e+00 0.00e+00  
                          0.00 0.00e+00 0.00e+00  
Chi^2 = 527899.42310, ndof = 160789  
Chi^2/nu = 3.283

## Bibliografía.

- [1] Christopher Añorve Solano “Modelaje del Brillo Superficial para Galaxias en Cúmulos de Abell: Correlaciones y Efectos Ambientales” INAOE. 2006.
  
- C. M. Baugh (ICC, Durham), “A primer on hierarchical galaxy formation: the semi-analytical approach”, 21 Nov 2006.
- de Souza, R. E.; Gadotti, D. A.; dos Anjos, S. 2004, ApJS, 153, 411D
- Freeman, K.C. 1970, ApJ, 160, 811.
- Hubble, E.P. 1926, ApJ, 64, 321
- Jarrett et al. 2003, AJ, 125, p. 525.
- Jedrzejewski, R., 1987 MNRAS, 226,747
- McDermid, Richard. et al. 2005, “Stellar Kinematics and Populations of Early-Type Galaxies with the SAURON and OASIS Integral-Field Spectrographs”. arXiv.org > astro-ph > arXiv:astro-ph/0508631v1
- Morgan, W. W. 1958, PASP, 70, 364
- Peng et al. 2002, *Astronomical Journal* (AJ), 124: 266
- Sérsic, J. 1968, Atlas de Galaxias Australes Córdoba: Observatorio Astronómico
- Van den Bergh, S. 1960, ApJ, 131.
- Simard, L. 1998, ASPC, 145, 108
- de Vaucouleurs, G. 1948, Ann. d’ Ap., 11, 247.
- Zsolt Frei, Puragra Guhathakurta, James E. Gunn, and J. Anthony Tyson: "A Catalog of Digital Images of 113 Nearby Galaxies".

**APENDICE D**

NGC	Obs.	Tipo	T	Coordinates		Epoch 2000		B_T	v	D	Angulo	
				alpha	delta	RA	Dec.				Incli	Pos
2403	Palomar	Sc(s) III	6	32:02.7	+65:42:43	07h 36m 51.8s	+65° 36' 13"	8.93	129	1312	55.8	127
2541	Palomar	Sc(s) III	6	11:01.9	+49:13:00	08h 14m 40.1s	+49° 03' 41"	12.26	556	378	59.9	165
2683	Lowell	Sb (nearly on edge)	3	51:54.2	+33:27:34	08h 52m 41.8s	+33° 25' 20"	10.64	402	559	76.4	44
2715	Lowell	Sc(s) II	5	06:01.0	+78:06:17	09h 08m 06.5s	+78° 05' 06"	11.79	1317	293	70.2	22
2768	Lowell	S01/2(6)	-	07:45.2	+60:14:40	09h 11m 37.5s	+60° 02' 14"	10.84	1334	487	58.3	95
2775	Lowell	Sa(r)	2	09:46.1	+07:05:06	09h 10m 20.3s	+07° 02' 16"	11.03	1350	255	39.1	155
2903	Palomar	Sc(s) I-II	4	29:19.9	+21:43:11	09h 32m 09.9s	+21° 30' 07"	9.68	556	755	61.4	17
2985	Lowell	Sab(s)	2	45:52.6	+72:30:45	09h 50m 21.8s	+72° 16' 47"	11.18	1317	274	37.4	0
3031	Palomar	Sb(r) I-II	2	51:29.9	+69:18:19	09h 55m 32.9s	+69° 03' 55"	7.89	-37	1614	58.3	157
3147	Lowell	Sb(s) I.8	4	15:23.4	+73:27:23	10h 16m 53.6s	+73° 24' 02"	11.43	2810	233	27.0	155
3166	Lowell	Sa(s)	0	11:09.3	+03:40:25	10h 13m 45.6s	+03° 25' 31"	11.32	1344	287	60.7	87
3184	Lowell	Sc(r) II.2	6	17:38.7	+41:28:29	10h 18m 17.0s	+41° 25' 27"	10.36	589	444	21.1	135
3198	Palomar	Sc(rs) I-II	5	16:53.0	+45:47:59	10h 19m 54.9s	+45° 33' 00"	10.87	663	510	67.1	35
3319	Palomar	SBc(s) II.4	6	36:14.1	+41:56:46	10h 39m 09.4s	+41° 41' 14"	11.48	745	369	56.7	37
3344	Lowell	SBbc(rs) I	4	42:48.5	+24:58:46	10h 43m 30.7s	+24° 55' 19"	10.45	584	424	24.2	0
3351	Lowell	SBb(r) II	3	43:15.6	+11:45:15	10h 43m 57.7s	+11° 42' 13"	10.53	777	444	47.5	13
3368	Lowell	Sab(s) II	2	44:06.9	+12:05:05	10h 46m 45.9s	+11° 49' 25"	10.11	898	455	46.2	5
3377	Lowell	E6	-	47:09.1	+14:02:35	10h 47m 42.2s	+13° 59' 08"	11.24	691	314	54.9	35
3379	Lowell	E0	-	47:12.6	+12:38:22	10h 47m 49.7s	+12° 34' 53"	10.24	888	322	27.0	0
3486	Lowell	Sc(r) I-II	5	59:44.8	+29:02:10	11h 00m 23.9s	+28° 58' 29"	11.05	680	424	42.2	80
3556	Lowell	Sc(s) III	6	10:40.1	+55:43:56	11h 11m 31.2s	+55° 40' 24"	10.69	693	522	75.1	80

3596	Lowell	Sc(r) II.2	5	12:27.9	+15:03:38	11h 15m 06.1s	+14° 47' 12"	11.95	1191	238	17.3	0
3623	Lowell	Sa(s) II	1	18:19.5	+13:09:31	11h 18m 55.9s	+13° 05' 37"	10.25	806	586	72.8	174
3631	Lowell	Sc(s) I-II	5	18:13.3	+53:26:43	11h 21m 02.9s	+53° 10' 09"	11.01	1157	300	17.3	0
3672	Lowell	Sc(s) I-II	5	24:31.1	-09:44:33	11h 25m 02.3s	-09° 47' 43"	12.09	1862	250	62.1	12
3675	Lowell	Sb(r) II	3	25:33.3	+43:38:45	11h 26m 07.9s	+43° 35' 10"	11.00	765	353	58.3	178
3726	Lowell	Sc(r) I-II	5	32:39.1	+47:05:49	11h 33m 21.3s	+47° 01' 44"	10.91	848	369	46.2	10
3810	Lowell	Sc(s) II	5	38:23.5	+11:44:55	11h 40m 58.7s	+11° 28' 17"	11.35	993	255	44.9	15
3877	Lowell	Sc II.2	5	43:29.4	+47:46:18	11h 46m 07.7s	+47° 29' 41"	11.79	902	329	76.4	35
3893	Lowell	Sc(s) I.2	5	46:01.1	+48:59:20	11h 48m 38.1s	+48° 42' 38"	11.16	971	268	51.9	165
3938	Lowell	Sc(s) I	5	50:13.6	+44:24:07	11h 52m 49.3s	+44° 07' 13"	10.90	807	322	24.2	0
3953	Lowell	SBbc(r) I-II	4	53:02.2	+52:22:19	11h 53m 48.9s	+52° 19' 35"	10.84	1053	415	59.9	13
4013	Lowell	Sbc:	3	57:51.8	+44:01:12	11h 58m 31.1s	+43° 56' 51"	12.19	836	314	78.8	66
4030	Lowell	Sbc(r) I	4	59:45.8	-01:02:30	12h 00m 23.5s	-01° 06' 00"	11.42	1460	250	43.6	27
4123	Lowell	SBbc(rs)	5	07:30.9	+02:57:17	12h 08m 11.1s	+02° 52' 41"	11.98	1328	261	42.2	135
4125	Lowell	E6	-	07:25.1	+65:13:41	12h 08m 05.6s	+65° 10' 28"	10.65	1354	345	56.7	95
4136	Lowell	Sc(r) I-II	5	06:45.7	+30:12:18	12h 09m 17.7s	+29° 55' 39"	11.69	607	238	21.1	0
4157	Lowell	Sbc	5	10:26.7	+50:33:20	12h 11m 05.0s	+50° 29' 08"	12.66	2294	134	39.1	115
4178	Palomar	SBc(s) II	8	10:13.8	+11:08:48	12h 12m 46.5s	+10° 52' 05"	11.90	376	307	69.2	30
4189	Palomar	SBc(sr) II.2	6	11:13.9	+13:42:11	12h 13m 47.5s	+13° 25' 32"	12.51	2112	143	43.6	85
4192	Palomar	Sb II:	2	11:15.9	+15:10:49	12h 13m 48.2s	+14° 54' 00"	10.95	-142	586	73.6	155
4216	Palomar	Sb(s)	3	13:20.9	+13:25:22	12h 15m 54.1s	+13° 08' 59"	10.99	129	487	77.4	19
4254	Palomar	Sc(s) I.3	5	16:18.0	+14:41:42	12h 18m 49.6s	+14° 25' 01"	10.44	2407	322	29.4	0
4258	Palomar	Sb(s) II	4	16:29.0	+47:35:00	12h 18m 57.5s	+47° 18' 15"	9.10	450	1117	67.1	150
4303	Palomar	Sc(s) I.2	4	19:22.0	+04:45:04	12h 21m 54.9s	+04° 28' 24"	10.18	1569	387	27.0	0
4321	Palomar	Sc(s) I	4	20:22.9	+16:06:01	12h 22m 54.9s	+15° 49' 21"	10.05	1585	444	31.7	30
4340	Lowell	SB02(r)	-	23:04.9	+16:46:54	12h 23m 35.2s	+16° 43' 20"	12.10	915	212	37.4	102

4365	Lowell	E3	-	5	23:56.0	+07:22:41	12h 24m 28.1s	+07° 19' 03"	10.52	1227	415	43.6	40
4394	Palomar	SBb(sr) I-II	-	3	23:24.9	+18:29:23	12h 25m 55.6s	+18° 12' 50"	11.73	920	217	27.0	0
4414	Palomar	Sc(sr) II.2	-	5	23:56.9	+31:29:55	12h 26m 27.1s	+31° 13' 24"	10.96	718	217	55.8	155
4442	Lowell	SB01(6)	-	2	27:32.3	+09:50:48	12h 28m 03.8s	+09° 48' 14"	11.38	530	274	67.1	87
4472	Lowell	E1 / S01(1)	-	5	29:13.8	+08:03:42	12h 29m 46.7s	+08° 00' 00"	9.37	915	613	35.6	155
4486	Lowell	E0	-	4	30:17.4	+12:27:00	12h 30m 49.3s	+12° 23' 26"	9.59	1282	499	37.4	0
4487	Lowell	SBc(s) II.2	-	6	28:29.5	-07:46:41	12h 31m 04.3s	-08° 03' 15"	11.63	1037	250	47.5	75
4501	Palomar	Sbc(s) II	-	3	29:27.9	+14:41:43	12h 31m 59.1s	+14° 25' 15"	10.36	2278	415	57.5	140
4526	Lowell	S03(6)	-	2	33:34.0	+07:45:58	12h 34m 03.1s	+07° 41' 58"	10.66	463	434	70.7	113
4527	Palomar	Sb(s) II	-	4	31:35.0	+02:55:42	12h 34m 08.5s	+02° 39' 09"	11.38	1734	369	70.2	67
4535	Palomar	SBc(s) I.3	-	5	31:47.9	+08:28:35	12h 34m 20.3s	+08° 11' 52"	10.59	1957	424	44.9	0
4548	Palomar	SBb(rs) I-II	-	3	32:55.1	+14:46:22	12h 35m 27.2s	+14° 29' 48"	10.96	485	322	37.4	150
4559	Palomar	Sc(s) II-III	-	6	33:29.0	+28:14:07	12h 35m 57.7s	+27° 57' 35"	10.46	814	642	66.0	150
4564	Lowell	E6	-	5	35:51.2	+11:30:17	12h 36m 26.9s	+11° 26' 21"	12.05	1119	212	65.4	47
4569	Palomar	Sab(s) I-II	-	2	34:17.9	+13:26:25	12h 36m 49.9s	+13° 09' 45"	10.26	-237	572	62.8	23
4571	Palomar	Sc(s) II-III	-	7	34:25.0	+14:29:34	12h 36m 56.5s	+14° 13' 02"	11.82	341	217	27.0	55
4579	Palomar	Sab(s) II	-	3	35:12.0	+12:05:34	12h 37m 43.5s	+11° 49' 05"	10.48	1521	353	37.4	95
4593	Lowell	SBb(rs) I-II	-	3	39:01.4	-05:16:29	12h 39m 39.4s	-05° 20' 39"	11.67	2497	233	42.2	0
4636	Lowell	E0 / S01(6)	-	5	42:12.8	+02:44:48	12h 42m 49.9s	+02° 41' 16"	10.43	1018	361	39.1	150
4651	Palomar	Sc(r) I-II	-	5	41:13.0	+16:40:05	12h 43m 42.7s	+16° 23' 56"	11.39	805	238	48.6	80
4654	Palomar	SBc(rs) II	-	6	41:25.9	+13:23:59	12h 43m 56.5s	+13° 07' 32"	11.10	1035	293	54.9	128
4689	Palomar	Sc(s) II.3	-	4	45:14.9	+14:02:04	12h 47m 45.7s	+13° 45' 44"	11.60	1617	255	35.6	0

4710	Lowell	S03(9)	-	1	49:08.5	+15:13:27	12h 49m 38.7s	+15° 09' 54"	11.91	1119	293	76.1	27
4731	Lowell	SBC(s) III:	-	6	50:30.9	-06:19:11	12h 51m 01.2s	-06° 23' 34"	11.90	1495	396	60.7	95
4754	Lowell	SB01(5)	-	3	51:49.8	+11:22:12	12h 52m 17.5s	+11° 18' 49"	11.52	1396	274	57.5	23
4826	Lowell	Sab(s) II	-	2	56:08.7	+21:43:50	12h 56m 44.2s	+21° 40' 58"	9.36	412	600	57.5	115
4866	Lowell	Sa	-	1	56:57.9	+14:26:25	12h 59m 27.2s	+14° 10' 17"	12.14	1987	378	77.7	87
5005	Lowell	Sb(s) II	-	4	10:25.8	+37:06:53	13h 10m 56.6s	+37° 03' 33"	10.61	948	345	61.4	65
5033	Palomar	Sbc(s) I-II	-	5	11:07.9	+36:51:46	13h 13m 27.7s	+36° 35' 40"	10.75	877	642	62.1	170
5055	Palomar	Sbc(s) II-III	-	4	13:34.8	+42:17:48	13h 15m 49.1s	+42° 01' 50"	9.31	504	755	54.9	105
5248	Lowell	Sbc(s) I-II	-	4	35:32.4	+09:08:23	13h 37m 32.0s	+08° 53' 08"	10.97	1153	369	43.6	110
5364	Lowell	Sc(r) I	-	4	53:41.1	+05:15:33	13h 56m 11.9s	+05° 00' 52"	11.17	1240	405	49.8	30
5701	Lowell	(PR)SBa	-	0	36:41.5	+05:34:50	14h 39m 11.1s	+05° 21' 48"	11.76	1506	255	17.3	0
5746	Lowell	Sb(s)	-	3	44:22.4	+01:59:59	14h 44m 55.9s	+01° 57' 21"	11.29	1724	444	79.8	170
5792	Lowell	SBb(s) I.3	-	3	57:51.5	-01:02:29	14h 58m 22.7s	-01° 05' 27"	12.08	1929	415	75.5	84
5850	Lowell	SBb(sr) I-11	-	3	06:39.4	+01:36:13	15h 07m 07.6s	+01° 32' 39"	11.54	2553	255	29.4	140
5985	Lowell	SBb(r) I	-	3	39:24.1	+59:22:00	15h 39m 37.0s	+59° 19' 54"	11.87	2519	329	57.5	13
6015	Lowell	Sc(s) II-III	-	6	50:51.5	+62:20:17	15h 51m 25.3s	+62° 18' 35"	11.69	824	322	66.5	28
6118	Lowell	Sc(s) I.3	-	6	19:12.6	-02:09:57	16h 21m 48.5s	-02° 17' 01"	12.42	1572	280	64.7	58
6384	Lowell	Sb(r) I	-	4	29:59.0	+07:05:43	17h 32m 24.3s	+07° 03' 37"	11.14	1667	369	48.6	30
6503	Lowell	Sc(s) II.8	-	6	48:53.7	+70:09:00	17h 49m 26.2s	+70° 08' 42"	10.91	42	424	70.2	123

**APÉNDICE E. Parámetros estructurales de las 66 Galaxias.**

NGC	T	Chi <sup>2</sup> /nu	Distancia (Mpc)	Sérsic			Exponencial	
				Total magnitude	Re (kPc)	Exponent (de Vauc = 4)	Total magnitude	R <sub>s</sub> (kPc)
2403	6	2.98	1.85	15.64	0.19	0.52	11.64	0.91
2541	6	6.31	7.83	18.03	0.44	0.60	14.97	1.90
2715	5	1.99	18.63	22.67	0.21	0.43	17.30	3.18
2768	-5	2.12	18.80	17.06	1.83	2.07	16.45	5.47
2775	2	5.57	19.07	17.37	1.05	1.88	16.15	3.58
2903	4	3.52	7.83	15.33	0.31	0.69	12.05	2.34
2985	2	1.83	18.62	17.81	0.70	1.65	16.69	2.83
3031	2	1.69		12.33	0.65	1.66	11.16	2.32
3147	4	2.48	39.72	18.74	0.86	1.16	16.82	5.02
3166	0	5.31	18.94	18.19	0.41	0.66	16.80	1.28
3198	5	4.73	9.34	17.78	0.25	1.19	13.60	2.71
3319	6	5.04	10.45	17.33	0.92	0.72	14.55	4.06
3377	-5	5.28	9.75	17.83	0.30	1.54	16.72	1.37
3486	5	8.80	9.61	19.06	0.51	2.03	17.29	1.40
3596	5	3.66	16.77	20.60	0.28	0.96	17.39	1.77
3623	1	4.43	11.37	16.53	1.24	2.13	15.44	4.30
3672	5	7.54	26.23	22.43	0.36	0.46	17.12	3.97
3675	3	1.96	10.80	18.42	0.42	1.06	15.98	2.40
3726	5	2.56	11.96	21.40	0.22	0.74	17.05	3.26
3810	5	3.75	14.00	17.90	1.30	1.61	17.04	2.31
3877	5	2.24	12.70	19.91	0.32	1.41	16.92	2.61
3893	5	4.09	13.70	18.19	1.10	1.92	16.81	1.82
3938	5	1.92	11.39	19.74	0.32	0.81	16.38	2.00

3953	4	3.89	14.86	18.33	0.54	1.48	16.02	3.66
4030	4	2.11	20.56	16.75	2.71	2.11	17.17	3.20
4123	5	4.47	18.72	20.44	0.28	1.25	17.39	3.72
4125	-5	3.90	19.10	17.13	1.07	1.35	16.14	4.02
4178	8	3.28	5.32	17.86	0.49	0.65	14.46	1.52
4189	6	1.87	29.76	18.68	0.37	0.79	14.70	3.60
4192	2	2.60		15.80	0.57	1.76	13.05	6.76
4216	3	4.05	1.85	15.31	0.08	0.85	13.83	0.60
4258	4	5.14	6.31	15.26	0.40	1.21	12.35	2.49
4303	4	6.67	22.10	16.88	0.41	0.50	13.46	4.32
4365	-5	4.98	17.28	17.57	0.96	1.45	16.57	3.51
4414	5	8.49	10.14	16.48	0.33	0.81	14.05	1.28
4442	-2	1.77	7.46	17.32	0.30	1.22	16.92	1.07
4472	-5	1.97	12.23	16.29	0.86	1.50	15.26	2.59
4486	-4	3.53	18.06	16.33	1.30	1.17	15.23	3.77
4487	6	2.84	14.61	21.33	0.58	1.06	17.78	2.64
4501	3	1.83	32.11	16.48	1.17	0.66	13.27	7.37
4526	-2	1.87	6.31	16.89	0.48	1.48	16.52	1.65
4527	4	1.57	24.42	15.82	0.76	1.17	13.48	5.59
4535	5	3.33	27.56	17.05	0.46	1.58	12.94	8.45
4559	6	3.80	11.48	16.52	1.05	2.33	13.14	3.66
4564	-5	3.35	15.76	18.60	0.31	1.03	17.44	1.32
4569	2	3.02		16.28	0.76	0.92	13.44	5.89
4571	7	1.94	4.82	17.86	0.17	1.00	14.18	0.85
4579	3	2.27	21.39	15.27	0.95	1.04	13.53	4.72
4636	-5	2.14	15.42	17.17	0.84	1.37	15.87	3.46
4651	5	1.92	11.34	14.20	2.90	3.53	14.58	1.09

4654	6	3.29	14.58	17.87	0.44	0.73	13.64	3.10
4689	4	5.63	22.80	17.53	0.65	1.06	13.91	4.39
4754	-3	3.65	19.66	17.42	0.81	1.39	17.07	3.55
4826	2	4.21	5.75	17.56	0.14	0.94	14.43	1.42
4866	-1	6.70	28.00	20.12	0.91	1.00	18.56	5.11
5005	4	4.80	13.32	17.25	0.74	1.65	15.93	2.63
5033	5	6.23	12.37	14.97	1.27	1.53	14.25	4.88
5055	4	4.96	7.10	13.75	1.56	1.74	12.65	3.46
5248	4	2.86	16.24	18.69	0.54	0.70	16.35	3.45
5364	4	1.72	17.48	19.19	1.70	1.48	16.78	4.58
5701	0	1.65	21.21	17.66	1.62	1.73	17.44	5.69
5850	3	4.65	36.00	19.26	1.03	1.00	17.60	7.10
5985	3	1.88	35.49	20.42	0.74	0.77	16.98	7.10
6015	6	2.13	11.73	21.90	0.26	0.68	16.99	2.00
6118	6	4.06	22.13	21.42	0.61	0.47	17.26	5.08
6384	4	2.57	23.42	18.65	1.17	1.17	16.53	6.02