

Práctica Nro. 2

“Imagen de campo profundo del HST”

NOMBRE: _____

FECHA DE ENTREGA: _____

Objetivos

PARTE I: A partir del análisis de una imagen de cielo profundo obtenida por el Telescopio Espacial *Hubble* (HST, por sus siglas en inglés), estimaremos en primer lugar el número total de galaxias observables hasta cierto límite de magnitud. A partir de dicho dato, estimaremos luego la masa y la densidad media de materia del Universo observable. Compararemos este último resultado con la densidad de materia bariónica predicha por los modelos cosmológicos.

PARTE II: Estudiaremos la estructura a gran escala del Universo a partir de la distribución observada de corrimientos al rojo de galaxias.

(Conceptos clave: Clasificación morfológica de galaxias de Hubble. Efecto Doppler y corrimiento al rojo. Ley de Hubble. Modelo cosmológico estándar del “Big Bang”. Estructura del universo a gran escala: grupos, cúmulos y supercúmulos de galaxias, “paredes”, “filamentos” y “vacíos”. Densidad de materia bariónica).

PARTE I

Trabajaremos con la imagen “deepfld3WF3.jpg”. La misma corresponde a una superposición de casi 300 imágenes tomadas consecutivamente entre el 18 y el 28 de diciembre de 1995, durante 150 órbitas del HST. En ella se pueden apreciar objetos hasta la magnitud 30. La zona elegida es una región de alta latitud galáctica (en la constelación de la Osa Mayor), y desprovista de estrellas brillantes. Las coordenadas J2000 del centro de la imagen son R.A. = 12:36:49 y DEC = +62:12:58.

Ejercicio. Complete la siguiente tabla con datos sobre el HST:

En órbita desde:

Distancia a la Tierra:

Período orbital:

Diámetro del objetivo:

Analicemos la imagen tomada por el HST. Notar en ella dos tipos de objetos bien diferenciados: *estrellas* (distinguibles por el patrón de difracción característico de una fuente puntual y brillante de luz producido por el sistema óptico), y *galaxias* (objetos extendidos).

P.: ¿Cuántas estrellas distingue en la imagen?

R.: _____

1) Contaremos el número n de galaxias visibles en toda la imagen (**NOTA:** para ahorrar tiempo puede contar las galaxias visibles en $\frac{1}{4}$ de la imagen y luego multiplicar por 4 el número obtenido). Para ello podemos auxiliarnos con los siguientes comandos de MatLab:

```
>> A = imread('deepfld3WF3.jpg','jpg'); % Cargo la imagen en el programa.
>> imagesc(A) % Despliego la imagen en pantalla.
>> hold on % Para superponer gráficos.
>> C = ginput % Marco con el cursor los centros de las galaxias y guardo sus coordenadas
de pixeles (x,y) en la matriz C de dimensiones n x 2 (n filas x 2 columnas).
>> plot(C(:,1),C(:,2),'yo') % Dibujo pequeños círculos amarillos en torno a los
centros de las galaxias identificadas. Compruebo si las conté a todas, y solamente una vez a
cada una.
>> save C % Guardo la matriz C en un archivo binario de MatLab.
>> size(C) % Leo las dimensiones de C. El número de filas será el número total de galaxias
visibles en la imagen.
```

Para agregar más galaxias al registro:

```
>> C1 = C; % Respaldo C.
>> C2 = ginput % Marco las faltantes.
>> C = [C1' C2']';
```

Para remover una entrada del registro (por ejemplo, si hubiésemos contado una misma galaxia dos veces):

```
>> C1 = C; % Respaldo C.
>> i = find((C(:,1)==x)) % x es la coordenada horizontal de la galaxia repetida.
>> C(i,:) = [];
```

R.: $n \sim$ _____ (número de galaxias visibles hasta la magnitud 30 en toda la imagen).

2) Conociendo el campo angular A de la imagen, extrapole el número total de galaxias N del universo observable hasta la magnitud 30.

AYUDA: Calcule el área superficial de la imagen en estero radianes (sr o rad^2)¹, sabiendo que $1 \text{ rad} = 206265 \text{ arcseg}$. Luego aplique una simple regla de tres para la extrapolación.

¹ Se define al *estero radián* (sr o rad^2) como la unidad de ángulo sólido, es decir, 1 rad^2 es el ángulo sólido subtendido por una unidad de área de superficie esférica visto desde el centro de la esfera. Un área A sobre la superficie de una esfera de radio r subtiende un ángulo sólido $\Omega = A/r^2$. Entonces, dado que el área de la esfera es $4\pi r^2 \text{ rad}^2$, el ángulo sólido correspondiente a toda la esfera equivale a $4\pi \text{ rad}^2$.

Introducción a las Ciencias de la Tierra y el Espacio II

DATOS: $A = 75 \times 75 \text{ arcseg}^2$

R.: (Indique los cálculos y sus resultados)

$N \sim$ _____

- 3) Estime la distancia d de la galaxia más lejana presente en la imagen (la cual presenta un valor de corrimiento al rojo $z = 4.02$). Para ello utilice la siguiente aproximación (válida para $z \sim 5$):

$$d \approx 2 \times \frac{c}{H_0}$$

donde $c \approx 3 \times 10^5 \text{ km/s}$ es la velocidad de la luz en el vacío, y $H_0 = 71 \text{ km/s/Mpc}$ representa el valor actual de la constante de Hubble. Expresé la distancia en Mpc.

R.: (Indique los cálculos y sus resultados)

$d \sim$ _____

- 4) Estime el volumen V del universo observable a partir del resultado anterior.

AYUDA: el volumen de una esfera de radio R está dado por: $V = \frac{4}{3} \pi R^3$

R.:

V ~ _____

- 5) Determine los porcentajes de galaxias elípticas (P_{elip}), de galaxias espirales (P_{espir}) y de galaxias irregulares (P_{irreg}) identificables en la imagen. Anote los resultados en el siguiente cuadro.

R.:

P_{elip}	P_{espir}	P_{irreg}

- 6) A partir del resultado anterior estime la masa total M del Universo contenida en galaxias, conociendo los valores típicos para las masas de cada tipo de galaxia: $\bar{M}_{elip} \approx \bar{M}_{espir} \approx 5 \times 10^{11} M_{sol}$, $\bar{M}_{irreg} \approx 10^9 M_{sol}$. Exprese el resultado en masas solares (M_{sol} ²).

R.: (Indique los cálculos y sus resultados)

M ~ _____

- 7) Finalmente estime la densidad media $\bar{\rho}$ del Universo (considerando solamente la masa alojada en galaxias). Exprese el resultado en g/cm³ (NOTA: Una masa solar equivale a unos 2×10^{33} g).

R.: (Indique los cálculos y sus resultados)

² Una masa solar equivale a unos 2×10^{33} g.

$\bar{\rho} \sim$ _____

- 8) ¿Cómo compara el valor hallado para $\bar{\rho}$ con la densidad crítica ($\rho_c \sim 1.4 \times 10^{-29}$ g/cm³) y la densidad de materia bariónica ($\rho_{bar} \sim 5 \times 10^{-31}$ g/cm³)?

R.: _____

PARTE II

- 1) La imagen "hdf_z.gif" contiene los datos de los corrimientos al rojo de las galaxias que se observan en la imagen. Ingrese dichos datos manualmente en MatLab.. Sea z el vector que contiene los datos.
- 2) Mediante el comando $hist(z)$ obtenga un histograma de los corrimientos al rojo de las galaxias.
- 3) Cambie el tamaño del bin en el histograma al valor 0.1. Para ello defina el siguiente vector auxiliar:

```
>> x = [0.1:0.1:4.2]; % Recordar que el valor 4.2 es el mayor corrimiento al rojo  
mediado en las galaxias de la imagen.
```

- 4) Rehaga el histograma con el nuevo vector de $bins$:

```
>> hist(z,x)
```

- 5) Ponga título, nombre a los ejes y guarde la figura en un formato JPG, PNG, PDF, etc.. para imprimirla luego y adjuntarla al informe.
- 6) Un grupo o cúmulo de galaxias se pueden identificar por estar en una imagen bidimensional (de campo relativamente pequeño, como la que estamos estudiando que posee un tamaño angular de 4'x6'), y por presentar valores muy similares del corrimiento al rojo: la primera condición supone que las galaxias se ven prácticamente en una misma dirección del espacio, y la segunda que se encuentran a una distancia similar. Con ayuda del histograma

www.astronomia.edu.uy/CTE2

identifique los posibles cúmulos presentes en la imagen. ¿Cuántos observa, y a cuáles valores de z ? (Considere un error en z comparable al tamaño del *bin*).

R.:

7) ¿Qué puede decir acerca de la estructura a gran escala del universo, basándose en su respuesta anterior?

R.:

Introducción a las Ciencias de la Tierra y el Espacio II

- 8) Discuta la existencia de una posible relación entre la morfología y el color para las galaxias de mayor tamaño presentes en la imagen.

R.:

Resumen de la práctica

(Resuma en esta carilla la práctica indicando: los objetivos, la metodología utilizada para alcanzarlos, y los resultados obtenidos. Analice los resultados y discuta si se cumplieron o no los objetivos planteados. Destaque lo que a su juicio han sido los conocimientos más importantes aprendidos).