



**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**

**LICENCIATURA EN FÍSICA**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DE LA LEY HUBBLE -  
LEMAÎTRE MEDIANTE EL USO DE BASES DE DATOS  
ASTRONÓMICOS**

**TRABAJO DE GRADO QUE PRESENTA:**

**HANDEL CRUZ SOLANO**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN FÍSICA**

**DIRECTOR:**

**VÍCTOR ANDRÉS HEREDIA**

**BOGOTÁ, CUNDINAMARCA, COLOMBIA**

**OCTUBRE DE 2020**

# Contenido

Capítulo 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.3 OBJETIVOS .....	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos .....	4
1.4 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN .....	4
Capítulo 2.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Descubrimiento de las galaxias .....	6
2.2 Inicio de la cosmología moderna – Medición de distancias.....	8
Paralaje Trigonométrico.....	8
Estrellas variables como método de medición de distancias.....	9
2.3 Clasificación morfológica de las galaxias.....	12
2.3.1 Tipos morfológicos de galaxias .....	14
Galaxias espirales.....	14
Galaxias Irregulares .....	15
2.4 Espectro electromagnético .....	15
Espectro de emisión y de absorción .....	16
2.5 Espectroscopia Astronómica .....	18
2.6 El efecto Doppler .....	19
2.6.1 Efecto Doppler clásico .....	19
2.6.2 Efecto Doppler electromagnético .....	20
2.6.3 Efecto Doppler relativista .....	22
2.7 Desplazamiento hacia el rojo (Redshift) .....	23
2.9 Ley Hubble- Lemaître .....	24
3.0 Marco Pedagógico .....	30
3.1 TIC en la educación .....	32
3.2 Bases de datos -Software de libre acceso .....	33
El SDSS .....	34
Instrumentación del SDSS .....	34
Lanzamiento y acceso a los datos.....	34
Capítulo 3.....	37

Aprendizaje por descubrimiento (APD) .....	37
Descripción del modulo .....	38
3.1 Primer Momento .....	38
3.2 Segundo Momento .....	40
3.3 Tercer Momento .....	42
Capítulo 4.....	44
DISCUSIONES FINALES .....	44
Acerca de la implementación:.....	44
Resultados esperados:.....	44
CONCLUSIONES: .....	45
Conclusiones de orden conceptual:.....	45
Conclusiones de orden metodológico .....	45
Conclusiones de orden didáctico:.....	46
Recomendaciones:.....	46
Referencias .....	47
ANEXOS.....	49
MÓDULO .....	49
PRIMER MOMENTO .....	50
SESIÓN 1.....	50
SESIÓN 2.....	52
SEGUNDO MOMENTO .....	54
SESIÓN 3.....	54
SESIÓN 4.....	57
TERCER MOMENTO .....	59
SESIÓN 5.....	60
SESIÓN 6.....	65

*A mi madre, por su infinito amor, paciencia y apoyo incondicional en cada instante de mi vida. A mi padre, porque a pesar de sus limitaciones siempre ha estado presente en mi vida, guiándome y dándome su cariño.*

*A los Maestros de la Universidad Pedagógica Nacional, en especial al profesor Víctor Andrés Heredia, por su dedicación y apoyo en este proceso.*

*“Los simples poetas tienen la mente tan embotada como la de un sujeto ebrio, sumida siempre en la bruma, incapaces de ver o de juzgar las cosas con claridad. Para ser un eximio y cabal poeta todo hombre necesitaría estar versado en varias ciencias, poseer una mente lógica, analítica y, en cierta medida, matemática...”*

*John Dryden, Notas y observaciones sobre la emperatriz de Marruecos, 1674*

# Capítulo 1

## 1. INTRODUCCIÓN

En esta investigación se presenta una propuesta para la enseñanza de la astronomía, la cual está enfocada en el estudio de la ley de Hubble - Lemaître a través del uso de datos proporcionados por el Sloan Digital Sky Survey. La propuesta está conformada por tres momentos, los cuales incluyen un conjunto de actividades organizadas de forma sistemática en las que se abordan diferentes tópicos físicos y astronómicos mediados por la implementación de las bases de datos astronómicos. Esto, con el fin de reconstruir la ley antes mencionada de una manera más detallada y precisa. Del proceso investigativo, se concluye que para estudiar la expansión del universo por medio de la ley de Hubble- Lemaître, se requieren conocimientos entorno a la espectroscopia, efecto Doppler, clasificación morfológica de galaxias, magnitud y corrimiento al rojo en galaxias. La propuesta y las actividades contenidas están diseñadas para una población tanto de educación media básica como superior.

En el capítulo 1 se presenta: La introducción, el problema de investigación, el objetivo general y los específicos; por último, se abordan los antecedentes que comparten relación con la investigación. En el capítulo 2 se conceptualizan los fundamentos teóricos necesarios para la elaboración de la propuesta: Descubrimiento de las galaxias, medición de distancias astronómicas, clasificación morfológica de galaxias, espectro electromagnético, efecto Doppler y ley de Hubble- Lemaître. De igual manera, en este capítulo está contenido el marco pedagógico, el cual hace referencia a la metodología utilizada, las TIC en la educación y el uso de bases de datos astronómicos. En el capítulo 3 se hace una descripción detallada del módulo, en donde se presentan las actividades propuestas y los resultados esperados de las mismas. En relación con el capítulo 4, en este se exponen las discusiones finales, los resultados esperados y las conclusiones de orden conceptual, metodológico y didáctica de la investigación.

## 1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La astronomía es un área disciplinar de la ciencia que estudia los cuerpos celestes que se encuentran en el universo, tales como estrellas, planetas, satélites, galaxias, agujeros negros, entre otros. El estudio de la astronomía nace desde la observación celeste, y es esta la que ha llevado a la humanidad a través de los años a comprender una pequeña parte del vasto universo, logrando así crear concepciones y significados de los cuerpos que se encuentran en el firmamento.

En la educación actual la astronomía es una gran fuente de investigación debido a su amplio contenido de temas llamativos; distintos autores tales como Camino (2011), Fons (2013) o Bailey & Slater (2003) indican que, a diferencias de otras ciencias como la física e incluso las matemáticas, la astronomía cuenta con una alta aceptación por parte de los estudiantes debido a que esta atrae la atención de los mismos, generando interés e incentivándolos a la investigación; también destacan que la astronomía, además de ser una ciencia apasionante, cuenta con muchos aficionados autodidactas y profesionales que hacen inmersión en el estudio del universo.

Es esencial mencionar esta situación, debido a que en el ámbito de la educación secundaria hay una crisis de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, tanto a nivel nacional como internacional. A nivel internacional según la investigación realizada por Solbes, Montserrat, & Furió (2007), en donde los estudiantes de bachillerato muestran un desinterés hacia el estudio de las ciencias, en especial física, química y matemáticas. Esta investigación muestra que disminuye el número de alumnos que cursan el bachillerato científico.

El panorama a nivel nacional no es diferente, esto, según la investigación realizada por Molina, Casas & Rodríguez (2017), que tuvo como objeto determinar las actitudes hacia el aprendizaje de las ciencias en estudiantes que cursaban grado once en los colegios distritales de Bogotá; dicha investigación expone que, en general, estudiantes de bachillerato presentan actitudes negativas, desinteresadas o apáticas hacia el estudio de las ciencias. De igual manera estos resultados muestran que estas actitudes actúan como barrera frente al éxito del programa y pueden limitar el progreso académico de los estudiantes en niveles de educación superior.

Es por estas razones es que se hace relevante enseñar astronomía, ya que esta por si sola despierta el interés e involucra a los estudiantes de bachillerato al estudio de las ciencias y la investigación científica, apartándolos de las actitudes apáticas hacia las mismas. En este sentido

“Sería pues un error no aprovechar esta rama de la ciencia, que cautiva por sí sola, para despertar el interés por la ciencia en los estudiantes” (Fons, 2013, pág. 6).

Como ya se aclaró anteriormente, la astronomía es una gran fuente de investigación, pero como lo menciona Fons (2013), la mayoría de las investigaciones en este campo han estado centradas en los movimientos del sistema tierra, sol y luna, dejando atrás el estudio de conceptos más elaborados como los de universo observable, principio cosmológico, etc. En este mismo orden Pasachoff (2002), enfatiza la necesidad de enseñar aquellos temas que los astrónomos modernos están estudiando activamente, temas que pueden aparecer en informes de noticias o revistas (Bailey & Slater, 2003, pág. 8). De este modo, es de vital importancia enseñar estos tópicos a los estudiantes para que ellos logren una mayor concepción de lo que es la astronomía y sus enfoques de estudio.

Con base en lo expuesto anteriormente, se pretende entonces realizar una investigación enfocada hacia la enseñanza de un tópico en la astronomía que sea estudiado con frecuencia por los astrónomos, y que además sea llamativo para los estudiantes. Un tópico moderno trabajado en la astronomía y que es atractivo no solo para los aficionados a la misma, sino también para estudiantes, es la expansión del universo, que se da mediante el estudio de la Ley de Hubble- Lemaître, y como lo menciona Bailey & Slater (2003), se puede utilizar este tópico como una forma de interesar a los estudiantes en la ciencia.

Ahora bien, de esta ley surge un interrogante: ¿Cuál fue el desarrollo experimental que realizó Edwin Hubble y Georges Lemaître para hallar esta ley? partiendo de este interrogante se pretende realizar una propuesta para la enseñanza de estos desarrollos a partir de un módulo relacionado con el uso de bases de datos astronómicos, utilizando la página web SLOAN como herramienta fundamental para la enseñanza de esta temática, es por ello que surge la siguiente pregunta problema: ¿Qué características debe tener un módulo educativo centrado en el uso de bases de datos astronómicos para la enseñanza de la ley de Hubble- Lemaître?

## 1.3 OBJETIVOS

### Objetivo General

- Diseñar un módulo para la enseñanza de la ley Hubble-Lemaître centrado en el uso de bases de datos astronómicos.

### Objetivos Específicos

- Comprender los fundamentos teóricos implicados en el estudio de la ley de Hubble-Lemaître.
- Establecer actividades dentro del módulo que le permitan a los estudiantes comprender la ley de Hubble- Lemaître.
- Mostrar la pertinencia del uso de bases de datos astronómicos para la enseñanza-aprendizaje de la astronomía.

## 1.4 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

En el proceso de búsqueda se encontraron varios documentos a nivel nacional, el primero de ellos es el trabajo de grado realizado por Ballén, C. (2016), del Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional, titulado “Diseño de un módulo para la enseñanza de la cinemática y dinámica de las galaxias como introducción a la teoría de la materia oscura”. El trabajo consistió en diseñar un módulo como estrategia pedagógica para la introducción al concepto de materia oscura en las galaxias, esto, a través del estudio de la cinemática rotacional de las mismas. En este trabajo se utiliza la página SLOAN como una herramienta fundamental para el desarrollo de algunas de las actividades planteadas en el módulo.

De igual manera, otro antecedente que enriquece el proceso investigativo que se está llevando a cabo es un artículo realizado por Rodríguez, Reyes & Giraldo (2016) de la Universidad Distrital de Bogotá, titulado “Construcción de un diagrama de Hubble: una herramienta para la enseñanza de la astronomía”. Este artículo está orientado en ofrecer una actividad de apoyo a los docentes que se incursionan en la enseñanza de la astronomía, abordando el tema de la Ley de Hubble. El mismo cobra importancia para la investigación porque en él se exponen fundamentos teórico-prácticos que ayudaron a orientar y profundizar en el tema de la Ley de Hubble y su enseñanza.



Por otro lado, un antecedente enmarcado en el ámbito internacional es la investigación realizada por Kovarik N, Patterson et al. (2017), titulada “Educación bioinformática en la escuela secundaria: Implicaciones para promover las carreras de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas”. El trabajo consistió en mostrar cómo el programa Bio-ITEST ofrece un modelo de desarrollo profesional docente y, experiencias en el aula de los estudiantes que buscan aumentar la conciencia e interés de los maestros y estudiantes en las carreras de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas relacionadas con la bioinformática. Aunque este trabajo no esté relacionado con la astronomía, este nos muestra que las actividades informáticas son de gran importancia en la educación y no solo eso, sino que además el involucrar a los estudiantes en proyectos de investigación del mundo real es una estrategia comprobada para fomentar el interés en las carreras científicas. Asimismo, la investigación también señala que las situaciones que requieren que los estudiantes resuelvan problemas reales sirven para aumentar las percepciones de relevancia de la ciencia. Esta relevancia se mide en términos de creencias del estudiante y determina que la ciencia puede ser útil en la vida cotidiana.

# Capítulo 2

## MARCO TEÓRICO

### 2.1 Descubrimiento de las galaxias

Durante el siglo XVIII hubo una revolución en el campo de la astronomía observacional, pues con el perfeccionamiento de los telescopios se dio paso al descubrimiento de muchos cuerpos en la bóveda celeste, logrando así el estudio del universo a gran escala. Sin embargo, y de acuerdo con Cardona (2009), la sola intención de enumerar los cuerpos celestes no tenía valor alguno, puesto que no ayudaba a su estudio; era entonces necesario ordenarlos y catalogarlos.

Así pues, en el año 1774 surge el primer catálogo de objetos profundos del espacio, el cual contenía 103 elementos, entre los cuales se encontraban nebulosas, cúmulos estelares entre otros objetos astronómicos. Este fue propuesto por Charles Messier (1730-1817), astrónomo y caza cometas francés, quién a temprana edad desarrollo un interés peculiar por la astronomía, llegando a trabajar como asistente en el Observatorio Marino en París, donde llevo a cabo todos sus descubrimientos bajo la dirección del astrónomo Joseph Nicholas de I'ílse.

*Curiosamente, las observaciones de Messier de los objetos fijos del espacio profundo surgieron en su intento de descubrir mejor los cometas errantes, pues así podría distinguirlos fácilmente de ellos. Es así como en 1758 contempla el que sería primer objeto de su catálogo, el M1, que hoy conocemos como la nebulosa del Cangrejo, y que es el resto de la explosión de una supernova (Cardona, 2009, pág. 63).*

De hecho, otro astrónomo del siglo XVIII que realizo grandes aportes entorno a la comprensión detallada de la distribución de estrellas fue Wilhelm Herschel (1738-1822), quien, con ayuda de grandes telescopios (diseñados y construidos por él), logró observar de manera precisa los objetos más débiles y profundos del cielo. Durante sus observaciones hacia los cúmulos estelares, Herschel encontró que las estrellas no estaban distribuidas al azar en el espacio, sino que seguían un patrón discernible a simple vista, al igual que la Vía Láctea; este patrón hacía referencia a lo que hoy denominamos galaxia (Steiner, 2006).

Y aunque Messier y Herschel habían observado las galaxias, que en ese entonces eran denominadas nebulosas, quién teorizó las primeras ideas entorno a su naturaleza fue Immanuel Kant (1724-1804), un filósofo alemán que, a temprana edad y mucho antes de forjar su nombre

en la filosofía, entro en contacto con el pensamiento Newtoniano y desarrolló la idea que el sistema solar se había originado de la condensación de un disco de gas. Kant también planteo la noción que el sistema solar estaba contenido en una estructura mucho más grande y comprimida, y que las nebulosas observadas eran sistemas similares, a lo que el llamo universos islas (Steiner, 2006). Estas ideas fueron publicadas por primera vez en 1755, en un tratado titulado “*Historia general de la naturaleza y teoría del cielo*”, y según Girola, Racchiusa & Escudero (2014), allí se exponen las siguientes consideraciones:

*La Vía Láctea es un sistema constituido por muchos sistemas solares, encontrándose agrupados en una estructura de características parecidas a los sistemas planetarios de forma plana y elíptica, bajo las leyes de la mecánica celeste. Desde lo observacional considera que el Sol se encuentra en el plano de la Vía Láctea debido a la densidad estelar que se observa en ella, perteneciendo a la misma. De igual manera, El pensamiento teórico de Kant afirma la existencia de otros planetas con sus respectivos satélites orbitando alrededor de otras estrellas y que deben existir otras Vías Lácteas, hallándose distanciadas el equivalente al tamaño de ellas mismas, las cuales desde la Tierra son observadas como nebulosas elípticas sin posibilidad de discernir las estrellas que la componen. (Girola , Racchiusa, & Escudero , 2014, pág. 4).*

Tiempo después, Pierre-Simon Laplace (1749-1827), un astrónomo, físico y matemático francés) retomo la idea de los universos isla planteado por Kant, teorizando sobre la formación del sistema solar tomando como base una nube primigenia de gas y polvo en rotación. Con el paso de los años esta teorización fue tomando un gran valor entre los astrónomos, pues las observaciones databan de nebulosas muy parecidas y distribuidas por todo el espacio interestelar; curiosamente estas nebulosas contenían infinidad de estrellas, lo que llamó más la atención de los astrónomos (Cardona, 2006).

Es importante resaltar que, si bien los planteamientos de Laplace llamaron el interés de los astrónomos de la época, en sus hipótesis existían aciertos y errores:

*Por ejemplo, no logra explicar el momento angular del sistema solar, y sí explica bien la diferenciación de los planetas terrestres y gaseosos. Las observaciones de las nebulosas son interpretadas desde el enfoque laplaciano en el sentido que no se trata como arguye Kant de que son universos islas, sino que son zonas de formación de sistemas planetarios y por ende que están dentro de un mismo sistema y no fuera de la Vía láctea. (Girola , Racchiusa, & Escudero , 2014, pág. 5).*

## 2.2 Inicio de la cosmología moderna – Medición de distancias

Ahora bien, el foco de la astronomía a principios del siglo XX estaba situado en la comprensión y establecimiento de escalas en el universo. Las principales preguntas consistían en averiguar si en el universo existía una galaxia o multitud de ellas, el tamaño de la vía láctea y, esencialmente si las nebulosas espirales eran universos islas como teorizaba Kant o si eran nebulosas dentro de la vía láctea como afirmaba Laplace. Estas consideraciones llevaron a replantear o cuestionarse acerca del tamaño de la vía láctea y la distancia a la que se encontraban dichas nebulosas (Girola , Racchiusa, & Escudero , 2014).

A partir de estas reflexiones surgió la necesidad de medir distancias a gran escala en el universo, aunque históricamente ya se habían logrado determinar distancias a objetos relativamente cercanos situados en la bóveda celeste, esto, mediante el uso del paralaje trigonométrico.

### Paralaje Trigonométrico

El paralaje trigonométrico es un método efectivo para calcular distancias a estrellas relativamente cercanas. Está basado en un efecto netamente geométrico, el cual consiste en observar la variación aparente de la posición de una estrella con respecto a las estrellas de fondo distantes debido al movimiento anual de la tierra, tal como se observa en la ilustración 1.

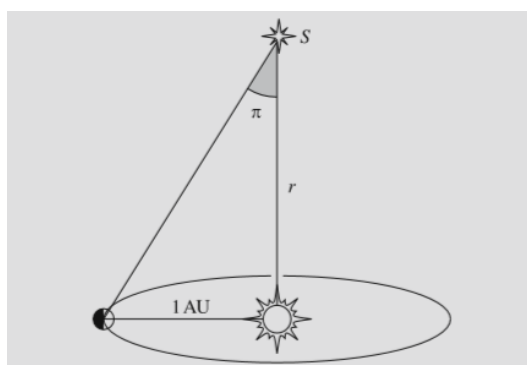


Ilustración 1 Paralaje anual de una estrella, causado por la trayectoria de la tierra en su órbita entorno al sol. Recuperado de *Fundamental Astronomy Fifth Edition*

Al medir el paralaje trigonométrico  $\pi$ , que es la mitad del cambio angular en la posición de una estrella con respecto al fondo durante un intervalo de seis meses, podemos hallar la distancia a una estrella como:

$$D = A/\tan(\pi) \quad (1)$$

Donde  $A = 1AU = 1.49597870 \times 10^{13}$  cm es la longitud del semieje mayor de la órbita de la Tierra alrededor del Sol (Mo, Bosch, & White, 2010).

Históricamente, no fue sino hasta el siglo XIX, cuando el astrónomo Friedrich Bessel (1748-1846) consiguió realizar la primera medición precisa del paralaje. Bessel encontró un paralaje de 0.3 para una estrella en particular, 61 Cygni, con lo cual dedujo que esta encontraba 650 000 veces más lejos que la tierra del Sol; la estrella más cercana, Próxima Centauri, tiene un paralaje de 0.72, con lo cual se deduce que se encuentra a una distancia de 1.31 pc<sup>1</sup> (Karttunen et al., 2009).

Ciertamente, el método del paralaje permite determinar la distancia a objetos relativamente cercanos (dentro de nuestra galaxia), pero cuando es necesario medir distancias más largas el paralaje no funciona correctamente, es por ello que han surgido otros métodos para lograr medir distancias más grandes en el espacio.

### **Estrellas variables como método de medición de distancias**

Durante el siglo XVIII, uno de los primeros astrónomos que estudio las estrellas variables fue John Goodricke (1764-1786), quién con su colaborador, Edward Pigott (1753-1825), determinaron los periodos de variación de las binarias eclipsantes como Algol y Lyrae, especulando que los eclipses de Algol podrían ser causados por un “cuerpo oscuro”, o incluso un planeta. De igual manera, descubrieron y determinaron los periodos de variación de las estrellas Delta Cephei y H Aquilae, las dos primeras cefeidas conocidas (French, 2012).



Ilustración 2 Foto reciente de la estrella binaria Delta Cephei, una de las primeras cefeidas observadas. Recuperado de <https://www.flickr.com/photos/87634607@N08/19096758764>

<sup>1</sup> El Pársec (pc) es una unidad de medida de distancia utilizada en astronomía, su valor es equivalente a  $3.085 \times 10^{16} m = 206.265 UA = 3.26 Años luz$

Posteriormente, a comienzos del siglo XX, la astrónoma estadounidense Henrietta Leavitt publicó en el diario del observatorio de Harvard College un artículo titulado “*Periods of 25 Variable Stars in the Small Magellanic Cloud*”, en donde expone su gran descubrimiento entorno a las estrellas variables situadas en la nube de magallanes; Leavitt encontró una relación entre el periodo de una cefeida y su magnitud absoluta (luminosidad), destacando que las estrellas cefeidas más brillantes poseen períodos más largos, tal como se muestra en las siguientes gráficas:

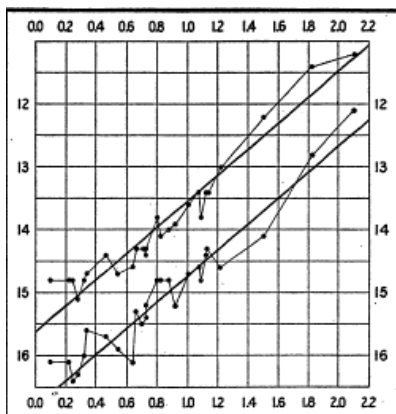


Ilustración 3 Gráfica original del artículo de Leavitt. Allí Se muestra la magnitud (ordenadas) y los períodos (abscisas) de veinticinco estrellas variables. Recuperado de <http://articles.adsabs.harvard.edu//full/1912H arCi.173....1L/0000003.000.html>

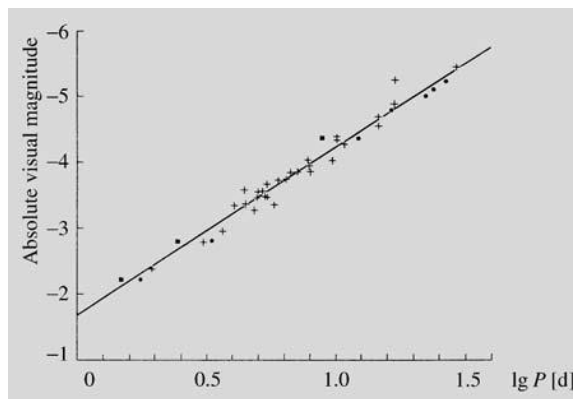


Ilustración 4 Relación período-luminosidad para las cefeidas. Los puntos y cuadrados negros son valores calculados teóricamente, las cruces y las líneas rectas representan la relación observada. Recuperado de *Fundamental Astornomy Fifth Edition*

Respecto a la ilustración 3 Leavitt (1912) resalta:

*“Se puede dibujar fácilmente una línea recta entre cada una de las dos series de puntos que corresponden a los máximos y mínimos, lo que demuestra que existe una relación simple entre el brillo de las variables y sus períodos. El logaritmo del período aumenta en aproximadamente 0,48 por cada aumento de una magnitud de brillo”* (Pág. 2).

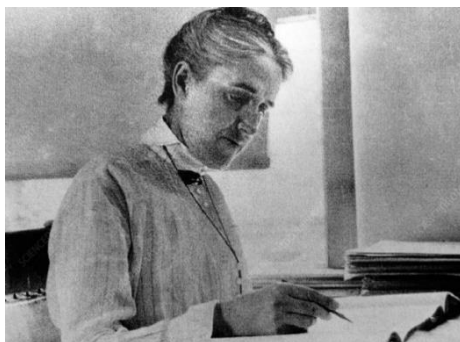


Ilustración 5 Henrietta Leavitt (1868-1921), Astrónoma estadounidense. Recuperado de <https://www.sciencephoto.com/media/226559/view/portrait-of-henrietta-leavitt>

En lo esencial, se ha observado que estos objetos astronómicos cambian sus magnitudes aparentes regularmente, con períodos que van de 2 a 150 días. Como el período está estrechamente correlacionado con la luminosidad de la estrella, se establece que:

$$M = -a - b \log P \quad (2)$$

Donde  $P$  es el período de variación de la luz en días, y  $a$  y  $b$  son dos constantes que se pueden determinar usando Cefeidas cercanas cuyas distancias se han medido con otro método (Mo, Bosch & White, 2010).

### **Ley inversa del cuadrado de la distancia**

Es importante destacar que la relación periodo-luminosidad cumple con la ley inversa del cuadrado de la distancia, puesto que el brillo aparente<sup>2</sup> de una estrella disminuye con el cuadrado de la distancia a la tierra. Matemáticamente, si se introducen las definiciones de magnitud, la relación entre magnitud aparente, magnitud absoluta y distancia viene dada por lo que distingue como módulo de distancias, que se da mediante la siguiente expresión:

$$M_V - m_v = 5 - 5(\log d) \quad (3)$$

De esta manera, al obtener el brillo de un objeto astronómico y conociendo su luminosidad, se puede determinar la distancia a la que se encuentra dicho cuerpo. Para el caso de las cefeidas es más sencillo, pues al obtener el periodo de pulsación de la estrella y empleando la relación periodo-luminosidad es posible obtener la magnitud absoluta de la misma, con la cual es posible hallar su distancia (Instituto Astrofísica Andalucía, 2012).

Como se mencionó anteriormente, las estrellas variables estudiadas fueron situadas en la nube de Magallanes, sin embargo, este tipo de estrellas no solo se encuentran allí, también se encuentran en la Vía Láctea y en Andrómeda, llamado grupo local de galaxias. Ciertamente, el estudio de estas estrellas y el descubrimiento de Leavitt entorno a las mismas ha sido de crucial importancia para determinar distancias extra galácticas.

---

<sup>2</sup> Se hace referencia al brillo o magnitud aparente de un objeto astronómico al número que indica la medida de su brillo visto por un observador en la Tierra.

## 2.3 Clasificación morfológica de las galaxias

Las galaxias son los componentes básicos del universo, pues son los sistemas que dan origen a la formación de estrellas y metales. Algunas de estas estructuras son muy simples, ya que están compuestas únicamente de estrellas; asimismo, hay galaxias que están hechas principalmente por gas neutro (HI), aunque también existen sistemas complejos que poseen varios componentes como estrellas, gas neutro, gas ionizado (HII)<sup>3</sup>, polvo, nubes moleculares, entre otros (Karttunen et al., 2009).

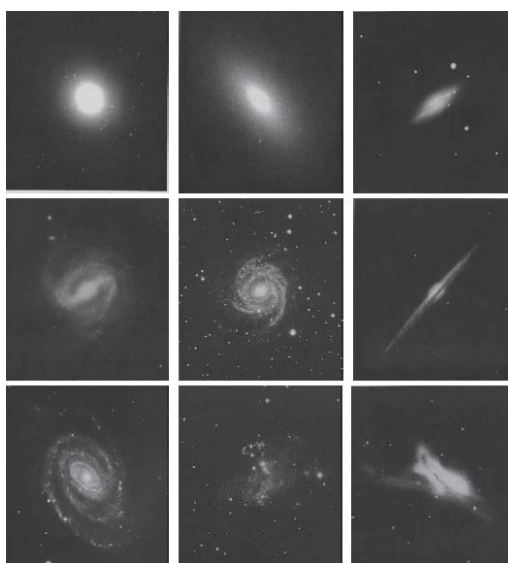


Ilustración 6 Diferentes tipos de Galaxias. De izquierda a derecha y de arriba a abajo, NGC4278 (E1), NGC3377 (E6), NGC5866 (SO), NGC175 (SBa), NGC6814 (Sb), NGC4565 (Sb, borde encendido), NGC5364(Sc), Ho II (Irr I), NGC520 (Irr II) Recuperado de *Galaxy Formation And Evolution*

Como se observa en la ilustración 6, en el universo existen diferentes tipos de galaxias, por lo que para facilitar su estudio es necesario realizar una clasificación basada en sus diferentes formas. De esta manera, en 1908 surge el primer esquema de clasificación de galaxias según su morfología (ilustración 7); este esquema fue propuesto por Max Wolf, y estaba basado en fotografías tomadas en Heidelberg. En este esquema no se hacía una distinción entre las nebulosas planetarias galácticas y las galaxias.

<sup>3</sup> Se hace referencia a un gas ionizado cuando los átomos que lo conforman han perdido o ganado electrones debido a cargas eléctricas u otro proceso físico.



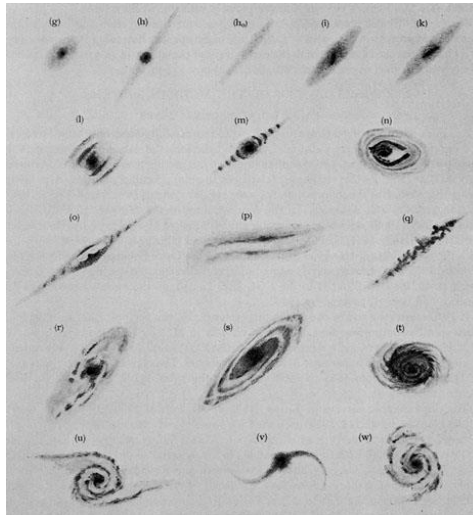


Ilustración 7 Clasificación descriptiva realizada por Wolf en 1908. Recuperado de <https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Sandage/Sandage2.html>

Posteriormente, en 1926 surge la secuencia morfológica de galaxias propuesta por el astrónomo norteamericano Edwin Hubble (1889-1953). En esta secuencia de tipo temprana a tardía (Ilustración 8) se ordenan los diversos tipos de galaxias según su morfología; también se diferencian los tres tipos principales de galaxias: elípticas, lenticulares y espirales. Las espirales se dividen en dos secuencias, espirales normales y espirales barradas. Asimismo, Hubble también incluyó una clase de galaxias irregulares (Karttunen et al., 2009).

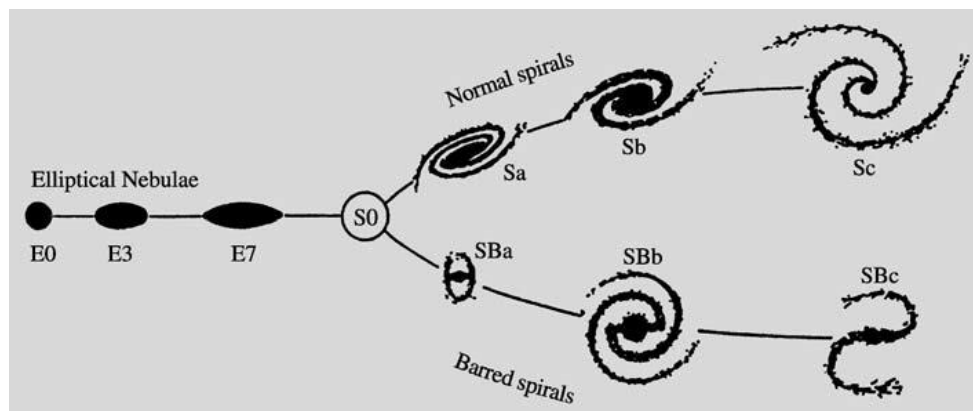


Ilustración 8 Representación esquemática de la secuencia Hubble en la versión de 1936. Recuperado de *Fundamental Astronomy Fifth Edition*

### 2.3.1 Tipos morfológicos de galaxias

Galaxias Elípticas: Aparecen en el firmamento como concentraciones elípticas de estrellas, en donde la densidad de estas disminuye mediante se va hacia afuera. En general, no hay signos de materia interestelar<sup>4</sup>. Las galaxias elípticas difieren entre sí sólo en forma y sobre esta base se clasifican como: E0, E1, . . . , E7. Se define el diámetro del eje mayor y menor de una galaxia elíptica como a y b, por lo tanto, su tipo se define como  $E_n$ , donde

$$n = 10 \left( 1 - \frac{b}{a} \right) \quad (4)$$

Una galaxia E0 se ve así circular en el cielo. La forma aparente de una galaxia E depende de la dirección desde la que se ve. En realidad, una galaxia E0 puede ser verdaderamente esférica o puede ser un disco circular visto directamente desde arriba (Karttunen et al., 2009).

Galaxias Lenticulares: Como se observa en la ilustración 8, después de las galaxias elípticas y antes de las espirales se encuentran un tipo de galaxias llamado lenticulares o S0; Estas galaxias, al igual que las elípticas contienen poca materia interestelar y no muestran signos de estructura espiral. Sin embargo, además del componente estelar elíptico habitual, también contienen un disco plano formado por estrellas. En este sentido, son similares a las galaxias espirales (Karttunen et al., 2009). En la ilustración 6 se puede observar la galaxia llamada NGC5866 (S0), la cual hace referencia al tipo lenticular.

### Galaxias espirales

Ciertamente, el aspecto característico de las galaxias espirales consiste en un patrón espiral más o menos bien definido en el disco. Estas consisten en una protuberancia central, que es estructuralmente similar a una galaxia elíptica, y de un disco estelar, como en una galaxia S0. De igual manera, existe un disco delgado de gas y materia interestelar, donde las estrellas jóvenes están naciendo<sup>5</sup>, formando el patrón en espiral. Se dividen y clasifican en dos ramas, la primera hace referencia a las galaxias espirales normales Sa–Sb–Sc, y la segunda a las galaxias espirales barradas SBa–SBb–SBc (Karttunen et al., 2009).

En cada rama las galaxias se dividen en tres clases, a, b y c, de acuerdo con los siguientes tres criterios:

<sup>4</sup> Bandas oscuras de polvo, o estrellas jóvenes brillantes.

<sup>5</sup> En el espacio interestelar, donde hay formación de Hidrogeno existe la formación de estrellas.

- La fracción de la luz en la protuberancia central.
- La tensión con la que se enrollan los brazos espirales.
- El grado en que los brazos espirales se disuelven en estrellas, regiones HII y pistas de polvo.

De acuerdo con esto, hay autores que resaltan:

*“Estos tres criterios están correlacionados: las espirales con un componente de protuberancia pronunciada generalmente también tienen brazos espirales fuertemente enrollados con regiones HII relativamente débiles, y se clasifican como Sa. Por otro lado, las espirales con protuberancias débiles o ausentes generalmente tienen brazos abiertos y regiones brillantes de HII y se clasifican como Sc. Cuando los tres criterios dan indicaciones contradictorias, Hubble pone más énfasis en la apertura de los brazos espirales”* (Mo, Bosch, & White, 2010, pág. 39).

## Galaxias Irregulares

Las galaxias irregulares se encuentran de igual forma distribuidas en el espacio. *“Estos objetos no tienen una protuberancia dominante ni una rotación simétrica disco y carecen de simetría obvia. Más bien, su apariencia es generalmente irregular, dominado por unas pocas regiones HII”* (Mo, Bosch, & White, 2010, pág. 10). En la ilustración 7 no es posible apreciar esta clase de galaxias debido a que Hubble no las incluyó en la secuencia original, esto, debido a su inseguridad al considerar estas como una extensión de las otras clases. No obstante, en la actualidad las galaxias irregulares suelen incluirse como una extensión de las galaxias espirales. En la ilustración 6 se puede observar la galaxia NGC520 (Irr II), la cual corresponde al tipo irregular.

## 2.4 Espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas abarcan un espectro muy amplio de longitudes de onda y frecuencia. En el espectro electromagnético están incluidas las ondas de radio y televisión, luz visible, radiación infrarroja y ultravioleta; asimismo, también se incluyen los rayos x y los rayos gamma. Si bien todas estas ondas electromagnéticas comparten diferencias en su uso y medios de producción, todas cumplen con el requisito de viajar a una misma rapidez de propagación en el vacío,  $C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ . En la ilustración 9 se puede apreciar el espectro electromagnético según su frecuencia, organizado según su longitud de onda desde la más amplia hasta la más baja. (Young & Freedman, 2009).

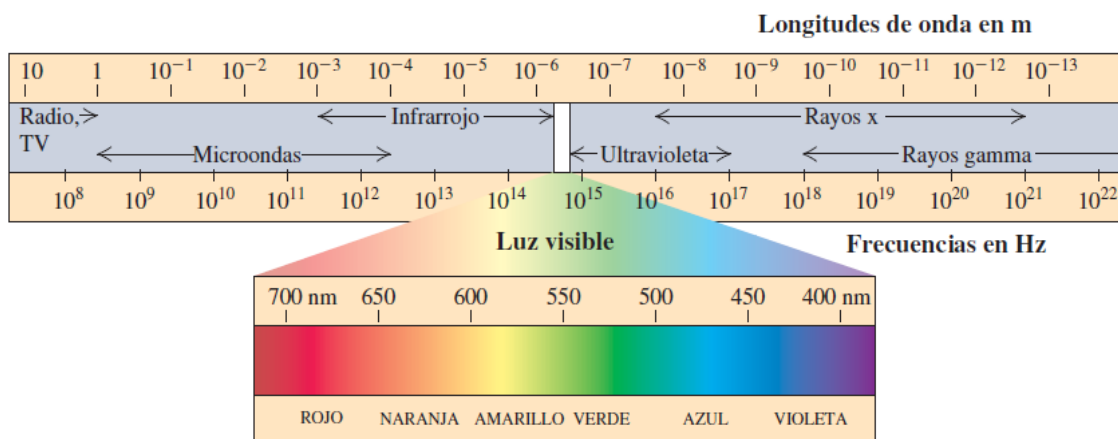


Ilustración 9 El espectro electromagnético. *Las frecuencias y longitudes de onda que se encuentran en la naturaleza se extienden en un intervalo tan amplio que se tiene que usar una escala logarítmica para indicar todas las bandas importantes.* (Young & Freedman, Pág 1095) Recuperado de *Física Universitaria Vol. 2*

Ahora bien, la materia está formada por átomos, los cuales son capaces de emitir ondas electromagnéticas o de absorberlas cuando son estimulados con radiación. Cuando esto sucede, se puede observar un conjunto de líneas relacionadas con sus frecuencias, que integran lo que se denominan espectros de emisión o de absorción; estos espectros otorgan información vital sobre los elementos y les permite a los científicos distinguirlos y estudiarlos a profundidad.

## Espectro de emisión y de absorción

De acuerdo con Cardona (2009), se define la espectroscopia de emisión como:

*Técnica por la que se estimula una sustancia provocando que emita radiación en forma de ondas electromagnéticas que primero se hacen pasar por una rendija que las concentra, para luego descomponerse por medio de un prisma y ser recogidas en una película fotográfica que muestra las frecuencias energéticas de los átomos existentes en la muestra en forma de franjas de colores (pág. 95).*

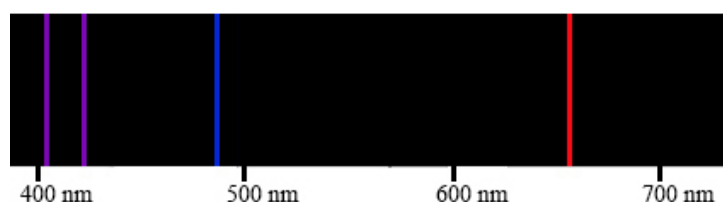


Ilustración 10 Espectro de emisión del Hidrógeno. Recuperado de <https://astronomweb.files.wordpress.com/2018/01/espectro-hidrogeno.jpg>

Mientras que, para la espectroscopia de absorción Cardona (2009), resalta:

*Técnica por la que se bombardea una sustancia mediante radiación electromagnética de manera que es capaz de absorber parte de ella dejando pasar el resto por una rendija que la concentra, para que luego se descomponga por medio de un prisma y se recoja en una película fotográfica que muestra las frecuencias lumínicas absorbidas por los átomos (pág. 95).*

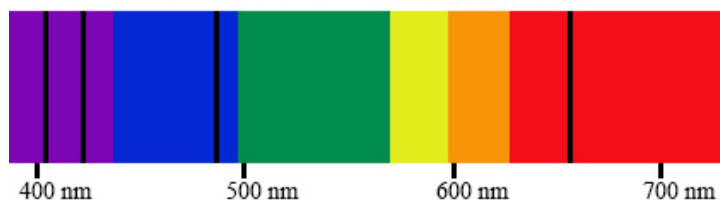


Ilustración 11 Espectro Absorción Hidrógeno. Recuperado de <https://astronomweb.files.wordpress.com/2018/01/espectro-hidrogeno.jpg>

En efecto, cuando la radiación electromagnética se emite o se absorbe, el átomo o la molécula excitada se mueve de un nivel de energía a otro (Ilustración 12). Si la energía del átomo disminuye en una cantidad  $\Delta E$ , el átomo emite o irradia un cuanto de radiación electromagnética, a la cual se le denomina fotón, el cual tiene una frecuencia  $\nu$  que viene dada por la ecuación:

$$\Delta E = h\nu \quad (5)$$

donde  $h$  es la constante de Planck,  $h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ Js}$ . Asimismo, si el átomo recibe o absorbe un fotón de una frecuencia  $\nu$ , su energía aumenta en  $\Delta E = h\nu$  (Karttunen et al., 2009).

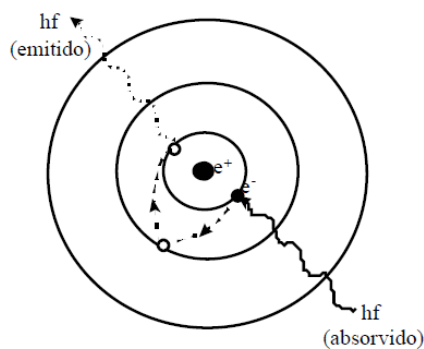


Ilustración 12 Representación de la emisión y absorción de un fotón en un átomo según la teoría de Bohr. Recuperado de *Consideraciones sobre el modelo atómico de Bohr*

## 2.5 Espectroscopia Astronómica

Es importante resaltar que el estudio de la espectroscopia juega un papel muy importante en la astronomía, pues es el medio por el cual los astrónomos indagan la composición química, la velocidad radial, presión y temperatura de los cuerpos situados en el espacio interestelar, logrando así su estudio a profundidad.

Por ejemplo, al analizar el espectro obtenido en el laboratorio de objetos astronómicos como estrellas o galaxias distantes es posible determinar su movimiento, esto, mediante el efecto Doppler (efecto que se analizará en el siguiente apartado), pues de acuerdo con Karttunen et al. (2006), “*Los desplazamientos de las líneas espectrales dan la velocidad radial  $v_r$  de la estrella, y el movimiento apropiado  $\mu$  se puede medir a partir de placas fotográficas o imágenes CCD*” (pág.29).

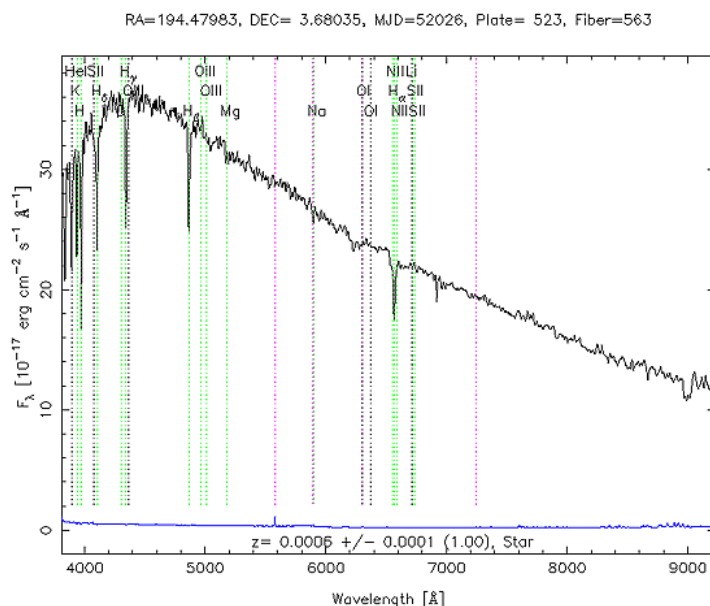


Ilustración 13 Espectro estelar: Muestra la intensidad de luz emitida o absorbida por las estrellas en función de la longitud de onda de la luz. Recuperado de <http://skyserver.sdss.org/dr10/en/proj/advanced/color/spectra.aspx>

De acuerdo con Karttunen et al. (2006):

*Los métodos más importantes para formar un espectro son mediante un prisma objetivo o un espectrógrafo de hendidura. En el primer caso se obtiene una fotografía, donde cada imagen estelar se ha extendido en un espectro. Hasta varios cientos de espectros pueden ser fotografiados en una sola placa y utilizados para la clasificación espectral.*

<sup>6</sup> Se hace referencia a los dispositivos acoplados por carga o CDD a los detectores sensibles de fotones que se instalan en los telescopios en lugar de películas o placas fotográficas para producir imágenes.

*La cantidad de detalle que se puede ver en un espectro depende de su dispersión, el rango de longitudes de onda por milímetro en la placa (o por píxel en un CCD). La dispersión de un prisma objetivo es de unas pocas decenas de nanómetros por milímetro (Pág.208).*

## 2.6 El efecto Doppler

En 1842 el físico austriaco Christian Doppler, dio una primera descripción al fenómeno que muestra el cambio de frecuencia aparente de las ondas debido al movimiento relativo de una fuente respecto al receptor y viceversa. Si la fuente se aleja del receptor, la frecuencia de la onda disminuye, pero si la fuente se acerca la frecuencia aumenta. En 1848 el astrónomo francés Hippolyte Fizeau, descubrió independientemente el mismo fenómeno en el caso de las ondas electromagnéticas, y posteriormente en 1868 el astrónomo William Huggins empleó su espectroscopio para intentar medir el efecto y encontró que la estrella Sirio se alejaba de la tierra a unos cuarenta y siete kilómetros por segundo, valor un poco mayor que el real (Cardona, 2009).



Ilustración 14 Christian Andreas Doppler (1803-1853). Recuperado de <https://www.prsfrance.com/quest-ce-quun-doppler-22-sonde-echographique/>

### 2.6.1 Efecto Doppler clásico

La ecuación que describe el efecto Doppler clásico viene dada por:

$$f_r = \frac{v + v_r}{v + v_e} f_e \quad (6)$$

Donde  $f_e$  es la frecuencia de emisión y  $f_r$  es la frecuencia de recepción;  $v_e$  y  $v_r$  corresponden a las velocidades del emisor y del receptor y  $v$  es la velocidad de la onda sonora. Esta ecuación incluye todas las posibilidades de movimiento tanto de la fuente como del receptor.

Para este caso, es importante resaltar que las velocidades  $v_r$  y  $v_e$  siempre se miden relativas al aire o al medio en cuestión. En caso de que la onda sea electromagnética, no existe un medio que se pueda utilizar como referencia para medir las velocidades, y lo único que importa es la velocidad relativa entre la fuente y el receptor (Young & Freedman, 2009).

## 2.6.2 Efecto Doppler electromagnético

De acuerdo con lo anterior, para deducir la expresión del cambio de frecuencia Doppler para las ondas electromagnéticas es necesario hacer uso de la teoría especial de la relatividad, pues debido a la dilatación del tiempo la luz emitida por una fuente en movimiento presenta un desplazamiento en su frecuencia. Es posible demostrar esto mediante la siguiente suposición:

Si una fuente de luz  $S'$  se desplaza con velocidad constante  $u$  hacia un receptor inmóvil en un marco inercial  $S$  cómo se observa en la ilustración 9, ¿qué frecuencia recibe el observador?

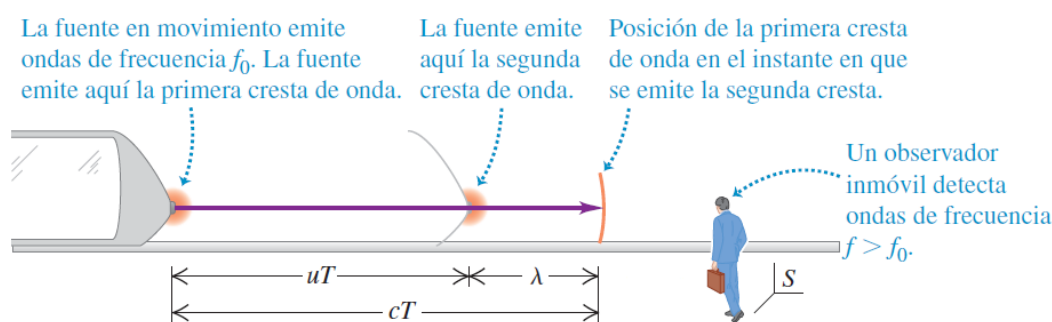


Ilustración 15 Efecto Doppler para las ondas electromagnéticas. Una fuente de luz que se desplaza con rapidez  $u$  con respecto a un observador en un marco inercial emite una cresta de onda. Recuperado de *Física Universitaria Vol. 2*

El periodo de las ondas emitidas por el marco  $S'$  están dadas por

$$T' = \frac{1}{f'} \quad (7)$$

Se define  $T$  como el intervalo de tiempo entre la emisión de crestas de las ondas sucesivas recibidas en el marco  $S$ . Al medir la frecuencia percibida, el receptor no tiene en cuenta la diferencia de tiempo en el tránsito de las crestas sucesivas, con lo cual la frecuencia que recibe no estará determinada por:



$$f = \frac{1}{T} \quad (8)$$

Ahora bien, dado un intervalo de tiempo  $T$  las crestas que van por delante de la fuente recorren una distancia  $cT$ , y la fuente se desplaza una distancia más corta  $uT$  en la misma dirección. De esta manera, se define la distancia  $\lambda$  entre crestas sucesivas, es decir, la longitud de onda, la cual está dada por:

$$\lambda = (c - u)T \quad (9)$$

Como

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (10)$$

Entonces

$$f = \frac{c}{(c - u)T} \quad (11)$$

Debido a la dilatación del tiempo  $T \neq T'$

$$T = \gamma T' = \frac{T'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = \frac{cT'}{\sqrt{c^2 - u^2}} \quad (12)$$

Invirtiendo (12) obtenemos

$$\frac{1}{T} = \frac{\sqrt{c^2 - u^2}}{cT'} \quad (13)$$

Reemplazando (13) en (11)

$$f = \frac{c}{(c - u)} \frac{\sqrt{c^2 - u^2}}{cT'} = \frac{\sqrt{(c - u)(c + u)}}{(c - u)} f' \quad (14)$$

Operando algebraicamente y simplificando se obtiene

$$f = \sqrt{\frac{c + u}{c - u}} f' \quad (15)$$

Expresión que describe el efecto Doppler de las ondas electromagnéticas.

### 2.6.3 Efecto Doppler relativista

En el efecto Doppler clásico las ecuaciones son válidas solo cuando  $v$  es menor que  $c$ , pero para altas velocidades se utiliza la forma relativista del efecto Doppler, la cual es deducible mediante las siguientes suposiciones:

Se define la longitud de onda  $\lambda$  como

$$\lambda = \frac{cT - vT}{N} \quad (16)$$

Donde  $N$  es el número de pulsos que se dan en un intervalo  $T$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{cN}{cT - vT} = \frac{N}{t(1 - \frac{v}{c})} \quad (17)$$

Como

$$T = \frac{T'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{NT'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (18)$$

Invirtiendolo

$$\frac{1}{T} = \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{NT'} \quad (19)$$

Reemplazando (19) en (17)

$$f = \frac{N}{t(1 - \frac{v}{c})} \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{NT'} = \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v}{c}} f' \quad (20)$$

Operando algebraicamente y simplificando se obtiene

$$f = \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}} f' \quad (21)$$

Expresión que describe el efecto Doppler relativista.

## 2.7 Desplazamiento hacia el rojo (Redshift)

El efecto Doppler para las ondas electromagnéticas ha tenido su mayor auge en la astronomía, pues mediante su medición se puede obtener información valiosa de los objetos celestes. Por ejemplo, en los espectros estelares las líneas espectrales a menudo se desplazan hacia el extremo azul (longitudes de onda más cortas) o rojo (longitudes de onda más largas) del espectro electromagnético. El desplazamiento hacia el azul significa que la estrella se acerca, mientras que un desplazamiento al rojo señala que está retrocediendo (Karttunen et al., 2009).

De acuerdo con lo anterior, se define el corrimiento al rojo o redshift  $z$  de la siguiente manera:

$$z = \frac{\lambda_r - \lambda_e}{\lambda_e} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_e} \quad (22)$$

Donde  $\lambda_r$  es la longitud de onda recibida y  $\lambda_e$  es la longitud de onda emitida por la fuente en cuestión.

Despejando,

$$\lambda_r = \lambda_e(1 + z) \quad (23)$$

Por lo tanto,

$$1 + z = \frac{\lambda_r}{\lambda_e} = 1 + \frac{v_e}{c} \quad (24)$$

Este corrimiento representa cuántas veces ha aumentado la longitud de onda.

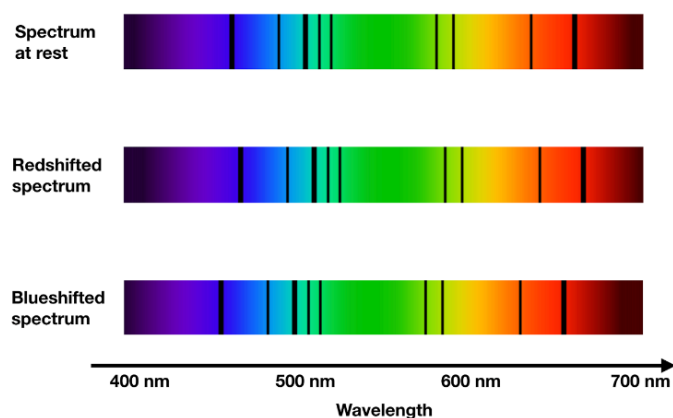


Ilustración 16 Corrimiento al rojo y al azul del espectro de una estrella. Recuperado de <https://www.anisotropela.dk/encyclo/redshift.html>

## 2.9 Ley Hubble- Lemaître

A comienzos del siglo XX el astrónomo estadounidense Vesto M. Slipher (1875-1969), quién trabajó en el observatorio Lowell, en Arizona, estudiaba los espectros de luz provenientes de las estrellas y nebulosas, los cuales eran objetos cuya naturaleza estaba siendo investigada con gran interés en la época. En 1913 Slipher observó algo inesperado: Un desvío espectral muy grande en la nebulosa Andrómeda. Las líneas espectrales correspondientes a cada elemento químico en el espectro de la nebulosa poseían un valor de longitud de onda diferente al valor de las líneas cuando se medían en la tierra. Se interpretó que las desviaciones espectrales en los cuerpos astronómicos eran causadas por el efecto Doppler (Bagdonas, Zanetic, & Gurgel, 2017).



Ilustración 17 Vesto M. Slipher (1875-1969). Recuperado de <http://laaventuradelaciencia.blogspot.com/2017/01/vesto-slipher-i-la-expansion-del.html>

Slipher presentó medidas de la velocidad radial de Andromeda, sugiriendo que esta se acercaría al sistema solar con una velocidad aproximada de  $300 \text{ km/s}$ , la más alta velocidad para cuerpos astronómicos hasta entonces. En los años siguientes (1914-1917) midió y presentó la medida de las velocidades radiales otras nebulosas, agrandando gradualmente el número de desviaciones espectrales medidas hasta ese momento (Bagdonas, Zanetic, & Gurgel, 2017).

Ahora bien, como se ha mencionado anteriormente, en 1926 surge la secuencia morfológica de galaxias propuesta por Hubble; pero su primer gran descubrimiento tuvo lugar en el año 1923, al dirigir el telescopio refractor de 2.50 metros de diámetro situado en el Monte Wilson hacia la nebulosa de Andrómeda. Hubble logra encontrar una estrella cefeida en las periferias de Andrómeda y, luego de implementar técnicas de periodo-luminosidad estimó la distancia a la nebulosa, siendo esta de unos 800.000 años luz, una distancia superior a la de las estrellas conocidas más lejanas en la vía láctea; este gran descubrimiento implicaría que la nebulosa de Andrómeda estaría fuera de la vía láctea, y por tanto no sería un sistema planetario como lo mencionaba Laplace, sino que haría parte del universo-isla plasmado por Herschel y Kant, en donde la nebulosa sería otra galaxia. Karttunen et al. (2006), manifiestan “*Edwin Hubble demostró que la galaxia M31 de Andrómeda estaba muy lejos de la Vía Láctea, resolviendo así una controversia de larga data sobre la relación entre las nebulosas y la Vía Láctea*” (pág. 394).



Ilustración 18 Galaxia de Andrómeda (M31). Recuperado de <https://www.spacetelescope.org/images/heic0512d/>

En los años siguientes, durante sus investigaciones sobre galaxias, Hubble y su asistente Humanson consiguieron medidas de distancias y desvíos espectrales para el rojo en los cuerpos más distantes de lo que se había conseguido hasta entonces. Como refiere Bagdonas, Zanetic, & Gurgel (2017):

*“En 1929 Hubble publicó un trabajo en el que presentaba las velocidades radiales de 46 nebulosas, con medidas razonablemente convincentes de las distancias de sólo 24 de ellas. La gran mayoría de las nebulosas espirales tenían desviaciones espectrales para el rojo y había desplazamientos hacia el azul sólo para algunas nebulosas más cercanas”* (pág. 9).



Ilustración 19 Edwin Hubble en los controles del telescopio de 100 pulgadas del Monte Wilson, 1922. Recuperado de: <https://www.pinterest.fr/pin/560909328584856307/>

Uno de los componentes más importantes de este trabajo es que Hubble encontró que las líneas espectrales de las galaxias tenían un desplazamiento hacia el rojo en una cantidad proporcional a sus distancias. De esta manera, si se considera que el desplazamiento se debe al efecto Doppler<sup>7</sup> significaría que las galaxias se alejan unas de otras con velocidades que aumentan linealmente con su distancia, lo cual implicaría que el universo está en expansión (Karttunen et al., 2009).

Al notar esta relación más o menos lineal entre las velocidades y las distancias entre nebulosas, y al observar que la relación parece dominar la distribución de las velocidades, Hubble planteó de manera empírica su ley, la ley de Hubble (Falcon, 2014).

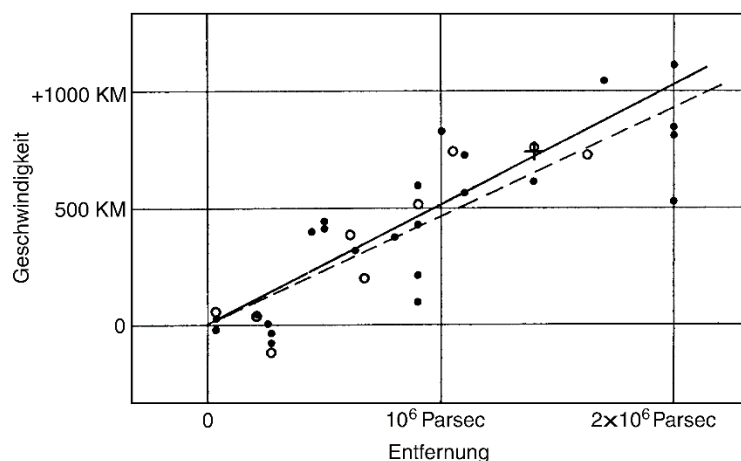


Ilustración 20 Versión original del diagrama de Hubble. Allí se muestra la velocidad radial de las galaxias en función de su distancia. Recuperado de *Extragalactic astronomy and cosmology*

<sup>7</sup> El corrimiento en las líneas, interpretadas como debidas al Efecto Doppler, permite determinar la velocidad radial relativa: cuanto más grande es, más distante está la galaxia (Schneider, 2006).

En términos del desplazamiento al rojo, véase la ecuación No 22, la ley de Hubble se puede escribir como:

$$z = \frac{\lambda_r - \lambda_e}{\lambda_e} = \frac{H_0}{c} r \quad (25)$$

De esta manera,

$$z = (H_0/c) r \quad (26)$$

Donde  $c$  es la velocidad de la luz,  $H_0$  es la constante de Hubble y  $r$  la distancia de la galaxia. Para pequeñas velocidades ( $V \ll c$ ) el desplazamiento al rojo Doppler viene dado por  $z = \frac{v}{c}$ , y, por lo tanto:

$$V = H_0 r \quad (27)$$

La cual es la expresión más utilizada para referirse a esta ley (Karttunen et al., 2009). Intrínsecamente esta formulación nos describe que cuanto más lejos están las galaxias de la tierra, más rápidamente se alejan de ella.

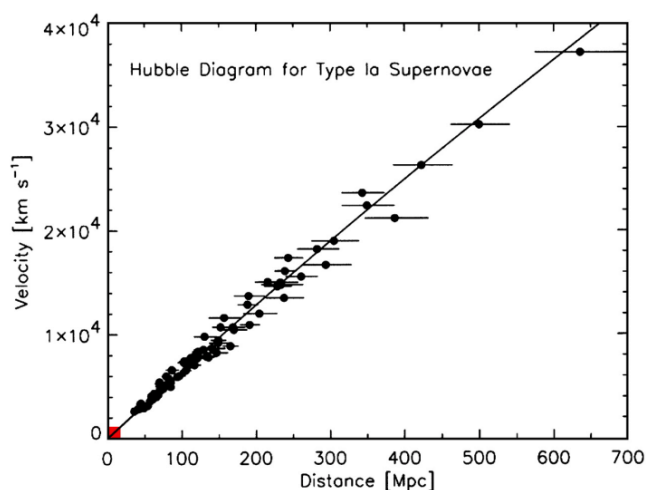


Ilustración 21 El diagrama de Hubble o la gráfica de relación velocidad-distancia para supernovas, 2004. Recuperado de [https://www.researchgate.net/figure/The-Hubble-diagram-or-the-velocity-distance-relation-plot-for-type-Ia-supernovae\\_fig1\\_331983227](https://www.researchgate.net/figure/The-Hubble-diagram-or-the-velocity-distance-relation-plot-for-type-Ia-supernovae_fig1_331983227)

Como se observa en la ilustración 20, si se grafica la velocidad radial<sup>8</sup> de las galaxias contra su distancia, se pueden aproximar los puntos resultantes mediante una línea recta, en la cual la pendiente está determinada por la constante de proporcionalidad  $H_0$  o constante de Hubble. Su valor inicial fue propuesto por Hubble, el cual estaría alrededor de  $500 \frac{km}{s} / Mpc$ ; sin embargo, el valor de esta constante ha sido determinado con precisión solo en los últimos años y su valor varía entre:

$$60kms^{-1}Mpc^{-1} \leq H_0 \leq 80kms^{-1}Mpc^{-1}$$

Donde  $1 Mpc = 10^6 pc$ .

$10^6 pc = 3,26 \times 10^6$  años luz.

Históricamente se le atribuyen los descubrimientos de esta ley a Edwin Hubble, pero en el 2017 Unión Astronómica Internacional publicó un documento titulado “*Sobre una propuesta de cambio de nombre de la ley de Hubble*” en donde se retoman los aportes realizados por el sacerdote y matemático Belga Georges Lemaître, quien en 1927 publica un modelo correspondiente a un universo estático (similar al de Einstein), pero luego de cierto tiempo salió del equilibrio y empezó a expandirse. Por ello se renombraría esta ley como ley Hubble - Lemaître. Así lo resalta Bagdonas, Zanetic, & Gurgel (2017).

*“Él redescubrió el modelo relativista de universo en expansión publicado por el ruso Alexander Friedmann (1888-1925), en 1922, sin conocerlo. Lemaître dedujo teóricamente una expresión para la relación entre las desviaciones espectrales para el rojo y la expansión del universo, que llevó a una aproximación a la relación entre la velocidad de recesión y la distancia del cuerpo”* (pág. 8).

Expresión deducida por Georges Lemaître:

$$V = \frac{c\sqrt{3}}{R_0} D \quad (28)$$

Donde  $c$  es la velocidad de la luz,  $R_0$  el radio de curvatura del universo y  $D$  es la distancia al cuerpo.

---

<sup>8</sup> Se hace referencia a la velocidad radial como la velocidad con la que un objeto astronómico se aleja o acerca a la Tierra.



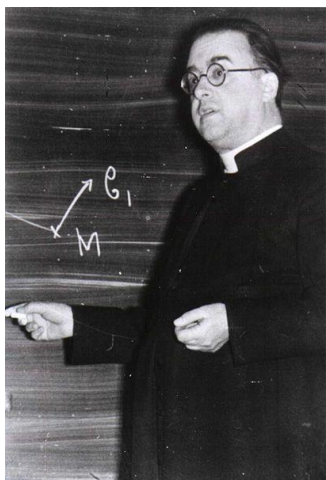


Ilustración 22 Georges Lemaître (1894-1966),  
 Profesor, Sacerdote, Matemático y Astrónomo  
 Belga. Recuperado de  
<https://in.pinterest.com/pin/523684262912244284/>

De esta manera, la relación velocidad distancia o ley de Hubble ya aparecía en el artículo publicado por Lemaître en 1927, dos años antes que la publicación hecha por el astrónomo Edwin Hubble, lo que indicaría que el principal descubridor de esta Ley sería el Georges Lemaître. Cabe destacar que las ecuaciones desarrolladas por Lemaître implicaban un universo con un radio creciente en el tiempo, lo que le llevó en 1931 a proponer una solución con radio nulo en el origen del tiempo, en donde plasmaba la idea del “átomo primordial” como origen del universo (Fons, 2013).

Todos estos descubrimientos fundamentaron una de las grandes revoluciones intelectuales del siglo XX, modificando completamente las discusiones sobre el origen del universo en ese entonces. Cabe destacar que estos hallazgos no fueron netamente aceptados por la comunidad científica, pues desde la antigüedad todas las teorías sobre el movimiento celeste defendían la concepción de un universo estático, estable y, por lo tanto, inmutable.

### 3.0 Marco Pedagógico

Este trabajo de grado se enmarca en la metodología cualitativa, la cual es conceptualizada según Hernández, Fernández y Baptista (2014) de la siguiente manera: *“hay una realidad que descubrir, construir e interpretar... ..en la investigación, las cuales varían en su forma y contenido entre individuos, grupos y culturas, por ello... ..el mundo social es relativo y solo puede ser entendido desde el punto de vista de los actores estudiados”* (Pág. 10).

Dentro de este marco, para Carrillo (1998), *“Una investigación cualitativa aborda a profundidad, experiencias, interacciones, creencias y pensamientos presentes en una situación específica y la manera como son expresadas por vías del lenguaje por los actores involucrados”* (Pág. 64). De acuerdo con esto, el método cualitativo intenta hacer una aproximación global de las situaciones sociales para explorarlas, describirlas y comprenderlas de manera inductiva, es decir, a partir de los conocimientos que tienen las diferentes personas involucradas en esas y no con base en hipótesis externas.

Hechas estas consideraciones, el modelo pedagógico propuesto para el desarrollo del módulo se basa en el aprendizaje por descubrimiento, un modelo desarrollado en la década de los 60 por Jerome S. Bruner, un psicólogo estadounidense que realizó grandes aportaciones a la psicología cognitiva y a las teorías del aprendizaje. En este modelo, el maestro organiza la clase de manera que los estudiantes aprenden a través de su participación.

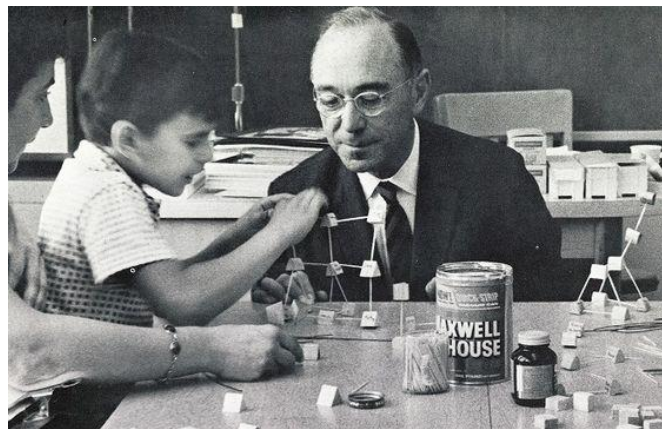


Ilustración 23 Jerome Bruner, teórico y psicólogo del aprendizaje. Recuperado de <https://co.pinterest.com/pin/374221050270281127/>

En relación con el aprendizaje por descubrimiento, Baro (2011) menciona:

*“El alumno tiene una gran participación. El docente no expone los contenidos de un modo acabado; su actividad se dirige a darles a conocer una meta que ha de ser alcanzada y además de servir como mediador y guía para que los alumnos sean los que recorran el camino y alcancen los objetivos propuestos”* (Pág.5)

Dentro de este orden de ideas, según Campanario & Moya (1999), se debe resaltar que uno de los aspectos relevantes dentro del aprendizaje por descubrimiento hace referencia al trabajo científico que había sido olvidado en la enseñanza tradicional de las ciencias, el cual es el aprender a descubrir; pues este aspecto aún constituye una de las más graves carencias en la formación en ciencias.

De acuerdo con esto, los autores antes mencionados enfatizan:

*“No cabe duda de que el enseñar a los alumnos a observar con ojos críticos es quizás una de las aportaciones más dignas de consideración de una teoría del aprendizaje y la enseñanza que hoy día es casi unánimemente combatida por los especialistas en enseñanza de las ciencias, a veces, casi de oficio”* (Campanario & Moya, 1999, pág. 4).

Así pues, desde un punto de vista procesual, Ruiz (1993) interpreta a Ausubel sobre el aprendizaje por descubrimiento planteando que este se puede definir como un proceso de resolución significativa de problemas, el cual se basa en la disposición intencional del sujeto hacia la comprobación de hipótesis que incorporen una comprensión de la relación *medios-fin*, fundamentadora del descubrimiento.

Dentro de este marco, es importante enfatizar que las actividades propuestas en el módulo tienen el objetivo de desarrollarse teniendo en cuenta el modelo pedagógico del aprendizaje por descubrimiento. Siguiendo estos principios, el docente no expone los contenidos de un modo acabado, más bien, su actividad gira entorno a la guía y mediación para que los estudiantes alcancen y desarrollen los objetivos propuestos en la clase.

### 3.1 TIC en la educación

Actualmente el proceso de enseñanza aprendizaje ha sufrido transformaciones con respecto a las herramientas y metodologías utilizadas en los escenarios educativos. Dichos cambios corresponden a la sustitución parcial del uso de libros por el ordenador, pues su uso implica alternar las actividades y desarrollos propuestos en el aula.

Respecto al uso del ordenador hay autores que resaltan que:

*“En general, el uso del ordenador ha permitido conseguir una metodología más activa. La presencia de ordenadores en las aulas ha favorecido, en algunos casos, que las estrategias metodológicas se hayan diversificado ya que, el libro de texto ha dejado de ser el único protagonista en el aula, al dejar de ostentar la exclusividad de proporcionar información, actividades, ilustraciones y presentaciones, hasta ahora caracterizadas por su linealidad”* (Sepúlveda & Calderon, 2007, pág. 7).

Cabe considerar, por otra parte, que la potencialidad de las TIC en los procesos de enseñanza aprendizaje en el aula no reside en las propias características de estas tecnologías, más bien, reside en las actividades que llevan a cabo los profesores y estudiantes, esto, gracias a las posibilidades de comunicación, intercambio, acceso y procesamiento de la información que ofrecen las TIC (Carneiro, Toscano, & Tamara , 2009).

En síntesis y de acuerdo con los autores antes mencionados, se puede resaltar que mediante el uso adecuado de las TIC los estudiantes aprenden que el conocimiento no es lineal, a ser autónomos en el momento de escoger fuentes, a tener una lectura crítica ante la gran cantidad de información y también a manejar los medios de comunicación; asimismo, aprenden que pueden formarse haciendo uso de un espacio virtual (Sepúlveda & Calderon, 2007).

Por último, es importante distinguir que:

*“las TIC digitales permiten crear entornos que integran los sistemas semióticos conocidos y amplían hasta límites insospechados la capacidad humana para (re)presentar, procesar, transmitir y compartir grandes cantidades de información con cada vez menos limitaciones de espacio y de tiempo, de forma casi instantánea y con un coste económico cada vez menor”* (Carneiro, Toscano, & Tamara , 2009, pág. 117).

### 3.2 Bases de datos -Software de libre acceso

En cuanto a la enseñanza de la astronomía existen diversas plataformas y herramientas interactivas que facilitan el aprendizaje de fenómenos y eventos astronómicos mediante simulaciones, animaciones y actividades; asimismo, actualmente se cuenta con la disponibilidad y acceso a un gran número de bases de datos reales proporcionados por observatorios y centros de investigación que facilitan la entrada a estos a través de internet, esto, con el fin que los investigadores, estudiantes, autodidactas e interesados puedan acceder a los datos y emplearlos para generar sus propios descubrimientos.

En este sentido, se hace mención a la página web SLOAN DIGITAL SKY SURVEY (SDSS)<sup>9</sup>, un proyecto de investigación creado en el 2000 con el fin de proporcionar mapas tridimensionales del universo, imágenes en el espectro visible y de corrimiento al rojo de más de tres millones de objetos astronómicos obtenidos por el telescopio de 2.5 metros del observatorio Apache Point de nuevo México (Ilustración 24).

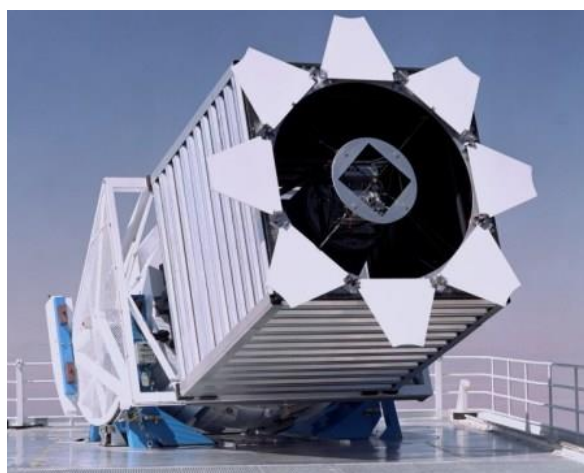


Ilustración 24 El telescopio de reconocimiento SDSS.  
Recuperado de  
<https://telescopier.wordpress.com/2018/05/09/celebrating-the-sloan-telescope/>

---

<sup>9</sup> Se puede acceder a la página principal del Sloan a través del siguiente enlace <https://www.sdss.org/>

## **El SDSS**

Actualmente ha sido uno de los proyectos más exitosos en la historia de la astronomía, pues ha estado funcionando durante más de 20 años, llevando a cabo importantes investigaciones en torno a la comprensión detallada de tópicos dentro de la astronomía y la cosmología tales como: galaxias, estrellas, exoplanetas y cuasars, entre otros.

Otro aspecto para resaltar es que el SDSS ha sido uno de los proyectos más referenciados en el ámbito de la astronomía, pues los datos obtenidos han sido utilizados en más de 7.700 publicaciones científicas. Asimismo, se debe resaltar que la realización de esos documentos de investigación ha sido desarrollada por científicos ajenos al proyecto principal, con lo cual se evidencia la importancia que tiene el acceso a los datos públicos (Blanton et al. 2017).

## **Instrumentación del SDSS**

Actualmente el telescopio cuenta con una cámara de 120 megapíxeles, la cual obtiene imágenes ópticas que barren un área del cielo a 1.5 grados cuadrados. Cuenta con dos espectrógrafos alimentados mediante fibra óptica que permiten medir espectros y distancias a más de 600 galaxias y cuasares en una observación. También posee un plano focal de 0,65m de diámetro que tiene una excelente calidad de imagen y pequeñas distorsiones geométricas en un amplio rango de longitud de onda (3000-10,600 Å) en el modo de imagen, entre otras características específicas (Gunn et al. 2006).

## **Lanzamiento y acceso a los datos**

Dentro del proyecto SDSS se publican datos con una regularidad estimada entre uno o dos años; la última publicación de estos pertenece a la versión DR16 (Data Release 16), la cual corresponde a la cuarta fase del SDSS. DR16 contiene observaciones hechas hasta agosto de 2018. Se puede acceder a estos datos publicados a través de plataformas o herramientas en línea como *Skyserver*, *CasJobs* o *Science Archive Server*, las cuales proporcionan una interfaz específica respecto a las necesidades y objetivos particulares del investigador.

Mediante el uso de la herramienta *Skyserver* se puede acceder a las imágenes, características, propiedades y espectros de las galaxias capturadas por el telescopio SDSS

## Imágenes obtenidas mediante la herramienta Skyserver

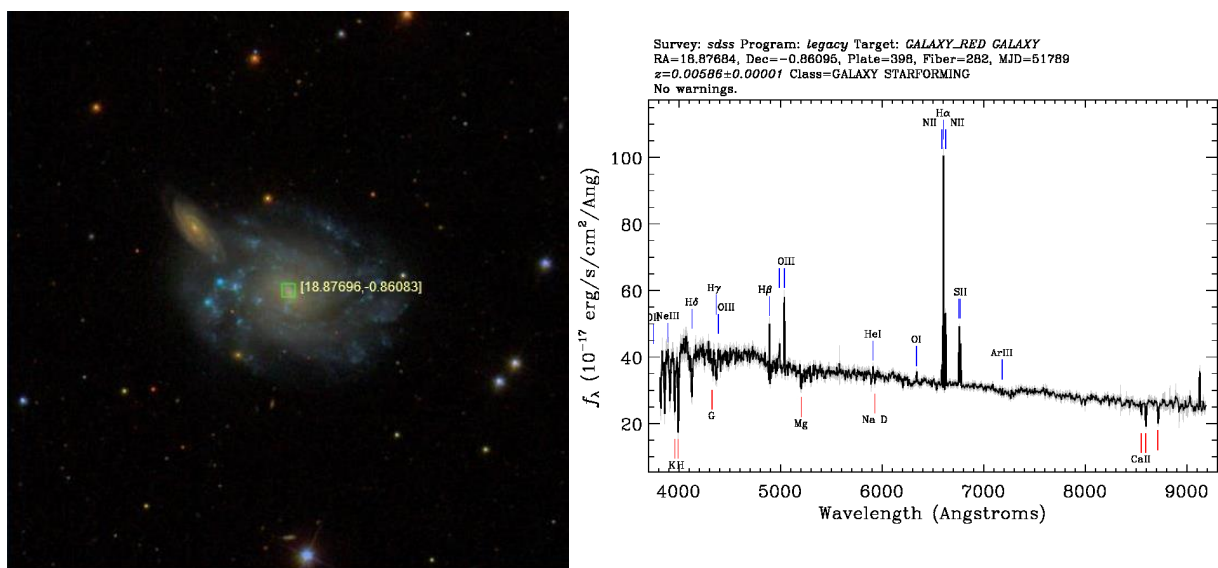


Ilustración 25 Imágenes tomadas por la cámara del SDSS y espectros asociado: galaxia espiral barrada NGC 450

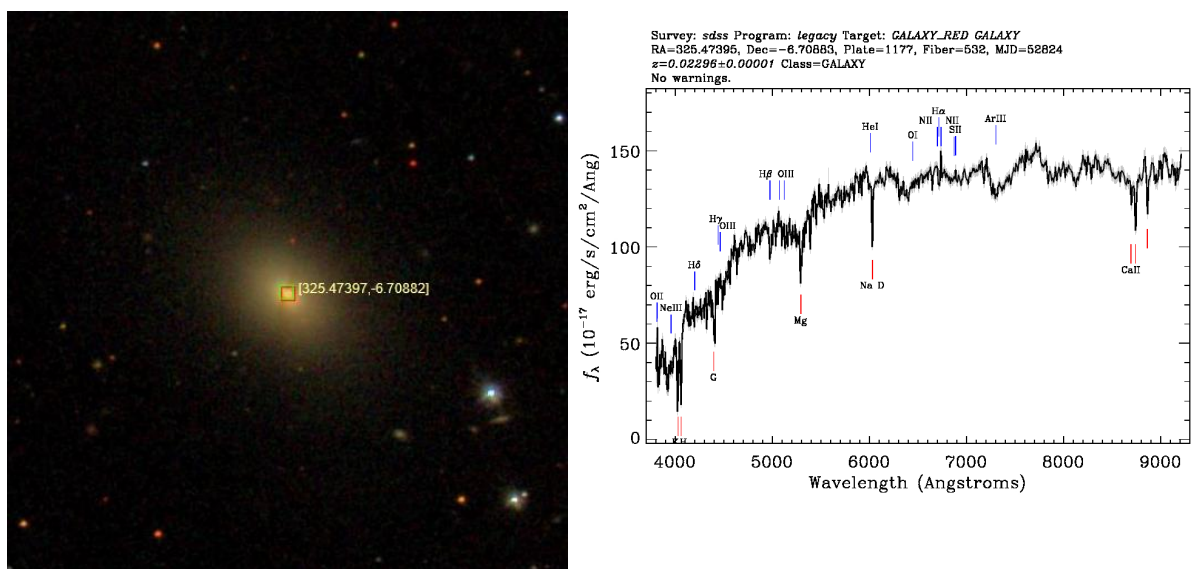


Ilustración 26 Imágenes tomadas por la cámara del SDSS y espectros asociado: galaxia elíptica NGC 7108

En síntesis, el proyecto Sloan ofrece imágenes a color de casi 14 millones de objetos, datos fotométricos completos, espectros de casi 50.000 objetos, acceso a datos de todos los tipos de objetos astronómicos. Asimismo, ofrece actividades enfocadas en la educación y resultados basados en desarrollos científicos.

En relación con el uso de las bases de datos como el Sloan, Rodríguez, Reyes & Giraldo (2016) refieren *“La ventaja de emplear datos reales en lugar de datos simulados o simplificados es que el procesamiento de los mismos puede dar a los estudiantes una idea real de cómo se desarrollan las investigaciones científicas”* (Pág. 5).

Del mismo modo Wilgenbus & Léna (2011) resaltan *“La educación científica basada en la investigación está recibiendo actualmente un consenso como una pedagogía para enseñar ciencias en los niveles de primaria y secundaria, con el objetivo de llegar a todos los niños y Jóvenes”* (Pág. 629).

Así pues, la implementación de esta herramienta será de vital importancia para el desarrollo de las actividades dentro del módulo, pues el SDSS ofrece proyectos que permiten tanto la observación y caracterización de los diferentes tipos de galaxias así como la comprensión de espectros y su análisis, pero sobre todo ofrece un proyecto para la realización del diagrama de Hubble, con lo cual es posible la deducción de la ley general Hubble-Lemaître, la cual es fundamental para el desarrollo de este trabajo.



## Capítulo 3

En este capítulo realiza una descripción de las actividades contenidas en el módulo. Como se mencionó anteriormente, estas actividades están fundamentadas en una metodología cualitativa basada en el aprendizaje por descubrimiento.

### **Aprendizaje por descubrimiento (APD)**

Se hace uso del modelo pedagógico del aprendizaje por descubrimiento ya que de acuerdo con Martínez & Zea (2004), una de las características más relevantes de este modelo es que el contenido a ser aprendido no se facilita en su forma final, sino que tiene que ser descubierto por el sujeto en cuestión; lo que implica un rol activo por parte del estudiante. También cabe destacar que, si bien este modelo obedece a regularidades de conceptualización y comprobación de hipótesis, lo que determina el centro lógico del concepto de descubrimiento es el criterio de comprobación.

Es importante resaltar que dentro de este modelo existen tres tipos o formas de descubrimiento, estas son:

- Descubrimiento inductivo: implica la colección y reordenación de datos para llegar a una nueva categoría, concepto o generalización.
- Descubrimiento deductivo: El descubrimiento deductivo implicaría la combinación o puesta en relación de ideas generales, con el fin de llegar a enunciados específicos, como en la construcción de un silogismo.
- Descubrimiento transductivo: En el pensamiento transductivo el individuo relaciona o compara dos elementos particulares y advierte que son similares en uno o dos aspectos (Baro, 2011, Pág. 5).

Debe señalarse que las actividades contenidas en el módulo se pretenden desarrollar haciendo uso del aprendizaje por descubrimiento. Asimismo, se plantea hacer uso del descubrimiento inductivo, ya que es la manera por la cual el estudiante adquiere de forma autónoma el conocimiento, partiendo de la observación y análisis de un fenómeno, desarrollando competencias o habilidades para aprender. Por último, se debe enfatizar que el rol del maestro va dirigido entorno a otorgar y presentar todas las herramientas necesarias para que el alumno descubra por sí mismo lo que desee aprender.

## Descripción del módulo

A continuación, se hace una descripción de las actividades contenidas en el módulo. El mismo está dividido en 3 momentos, en donde cada uno está conformado por dos sesiones de trabajo en las cuales se realizarán actividades específicas de acuerdo con los objetivos propuestos. Dentro del módulo se hace uso de la herramienta SkyServer, la cual es proporcionada por el proyecto Sloan Digital Sky Survey. Dadas las actividades desarrolladas en el módulo, es posible realizar su implementación tanto en una institución de básica media como en estudiantes de pregrado.

### 3.1 Primer Momento

Primer Momento				
Sesión	Objetivos	Actividad	Descripción	Resultados esperados
1 2 horas	Reconocer la composición de la luz  Distinguir los diferentes tipos de espectros	Construcción de un espectroscopio casero <sup>10</sup>	En un primer momento los estudiantes realizarán la construcción de un espectroscopio casero. Posteriormente, analizarán el espectro proveniente de diferentes fuentes de luz tales como: Bombilla blanca fría, Bombilla blanca cálida, Bombilla incandescente y Lámpara de sodio. Por último, se hará una organización espectral de lo observado.	A partir de la construcción y uso del espectroscopio se espera que los estudiantes puedan estudiar y analizar las propiedades de la luz en diferentes fuentes. Mediante esta actividad los estudiantes podrán observar que existe un espectro diferente para cada tipo de luz. Finalmente, se espera que relacionen los espectros observados con la luz proveniente de estrellas y galaxias.

<sup>10</sup> Ver anexos, primer momento, Pág. 49.

Sesión	Objetivo	Actividad	Descripción	Resultados Esperados
2 2 horas	Analizar y caracterizar el efecto Doppler	Uso de la simulación “ <i>The Doppler Effect</i> ” ( <a href="http://physics.bu.edu/~duffy/HTML5/doppler.html">http://physics.bu.edu/~duffy/HTML5/doppler.html</a> )	Por medio de la simulación “ <i>The Doppler effect</i> ” se evidenciará el fenómeno del efecto Doppler mediante la revisión de algunos casos específicos, en particular, si una fuente de sonido con determinada frecuencia se aleja o se acerca a un receptor con cierta velocidad y viceversa.	Con el uso de esta simulación se pretende lograr que los estudiantes obtengan nociones básicas entorno a lo que es el efecto Doppler y sus características. Asimismo, se espera que los sujetos sean capaces de relacionar el efecto Doppler tanto para las ondas de sonido como las electromagnéticas.

### Evaluación

Para las sesiones 1 y 2 se plantean las siguientes preguntas orientadoras:

Sesión 1:

- ¿Qué diferencias existen entre los espectros de una bombilla blanca cálida y una lámpara de sodio?
- ¿Qué aspecto tiene el espectro producido por el tubo fluorescente?
- ¿Qué líneas características aparecen en el espectro de la bombilla blanca fría? ¿A qué cree que se deben estas líneas?

Sesión 2:

- ¿Qué sucede con la frecuencia si tanto la fuente como el observador permanecen estáticos?
- ¿Qué sucede con la frecuencia percibida por el observador si la fuente se acerca al con una velocidad determinada?, y en caso contrario, ¿si el observador se acerca a la fuente?
- Describa qué sucede con la frecuencia si tanto la fuente como el observador se acercan, y en caso de que ambos se alejen ¿qué ocurre?

- ¿La frecuencia percibida por el observador depende directamente de la velocidad de la fuente emisora?

Se evaluará la sesión 2 a partir de un escrito en el cual los estudiantes describan y caractericen en qué consiste el efecto Doppler.

### 3.2 Segundo Momento

Segundo Momento				
Sesión	Objetivo	Actividad	Desarrollo	Resultados esperados
3 2 horas	Distinguir y caracterizar galaxias	Observación y análisis de galaxias mediante el uso de la herramienta SkyServer ( <a href="http://skyserver.sdss.org/dr16/en/home.aspx">http://skyserver.sdss.org/dr16/en/home.aspx</a> )	Los estudiantes podrán acceder a los datos publicados por el proyecto Sloan y posteriormente visualizar los diferentes tipos de galaxias presentes en el universo. A partir de estas observaciones, los estudiantes podrán distinguir la forma, el color y el tamaño de dichas galaxias.	Mediante esta actividad los estudiantes podrán darse cuenta de que existen diferentes tipos de galaxias en el universo, las cuales poseen diferentes formas, tamaños y colores.
Sesión	Objetivo	Actividad	Desarrollo	Resultados Esperados
4 2 horas	Clasificar galaxias según su morfología	Clasificación de galaxias haciendo uso del esquema Hubble	Con base en la sesión anterior, mediante el uso del esquema Hubble los estudiantes realizarán la clasificación de las galaxias observadas, comprendiendo la organización o distribución	A través esta actividad los estudiantes podrán ordenar y clasificar galaxias de acuerdo con el esquema de Hubble.  Para ordenar las galaxias en el esquema los

			morfológica de las mismas.	estudiantes deben tener en cuenta las características morfológicas de las galaxias.
--	--	--	----------------------------	---

### **Evaluación**

Para la sesión 3 y 4 se propone la resolución de las siguientes preguntas orientadoras:

Sesión 3:

- ¿Al analizar las imágenes ¿qué diferencias noto en las galaxias visualizadas?, ¿por qué cree que existen esas diferencias?
- ¿Qué características de las galaxias tendría en cuenta para clasificarlas?
- ¿De qué manera ordenaría y clasificaría todos los tipos de galaxias vistos?, realicé un dibujo o esquema en el cual se plasme su método para clasificar y ordenar las galaxias visualizadas.

Sesión 4:

- ¿Qué tan similar es la forma en que usted clasifico las galaxias en comparación al método utilizado por Hubble?
- ¿Qué se logra al hacer la clasificación de galaxias por el método realizado por usted, y que se logra mediante el método utilizado por Hubble?

### 3.3 Tercer Momento

<b>Tercer momento</b>				
<b>Sesión</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Resultados esperados</b>
<p><b>5</b> 2 horas</p>	<p>Uso e implementación de las bases de datos</p>	<p>Hallar la magnitud y el corrimiento al rojo de 6 galaxias utilizando la base de datos del SkyServer.</p>	<p>Los estudiantes identificarán tanto la magnitud como el corrimiento al rojo de 6 galaxias predeterminadas en la base de datos. Los datos seleccionados serán utilizados en la siguiente sesión.</p>	<p>Mediante esta actividad los estudiantes podrán identificar características propias de las galaxias seleccionadas, haciendo énfasis en que cada una de estas tiene una diferente magnitud y corrimiento al rojo.</p>
<b>Sesión</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Resultados Esperados</b>
<p><b>6</b> 2 horas</p>	<p>Realización del diagrama de Hubble para la comprensión general de la ley Hubble-Lemaître</p>	<p>Construcción de un diagrama de Hubble</p>	<p>Continuando la sesión anterior, los estudiantes realizarán un diagrama de Hubble con la implementación de los datos recogidos anteriormente. Este diagrama deberá ser construido través de herramientas como Microsoft Excel u otro programa en el que se pueda graficar. Finalizado el diagrama los estudiantes podrán notar una relación lineal entre estas dos magnitudes físicas.</p>	<p>A partir de esta actividad los estudiantes comprenderán que el diagrama realizado hace referencia a la ley obtenida por Hubble y Lemaître.</p>

**Evaluación**

Para la sesión 5 y 6 se propone la resolución de las siguientes preguntas orientadoras:

Sesión 5:

- ¿Qué significa encontrar la magnitud en una galaxia?
- ¿Por qué es posible utilizar las magnitudes como sustituto de las distancias?
- ¿Qué significa el corrimiento al rojo?
- ¿Qué implica que haya corrimiento al rojo en una galaxia?

Sesión 6:

Para la sesión 6 se tendrá en cuenta la creación correcta del diagrama de Hubble. Otro aspecto relevante será la resolución de las siguientes preguntas:

- ¿Sus datos muestran realmente una relación lineal entre la magnitud y el corrimiento al rojo?, de ser así ¿qué significa esta relación lineal?
- ¿Cómo puede relacionar la expansión del Universo con el diagrama creado?

## Capítulo 4

### DISCUSIONES FINALES

#### **Acerca de la implementación:**

El módulo elaborado, producto de esta investigación no pudo ser implementado en la Institución Educativa Las Villas, en Soacha Cundinamarca. Esto, en razón a las implicaciones del Covid-19 o Coronavirus, lo que impidió la implementación y socialización del mismo.

No obstante, la metodología, la didáctica y actividades se encuentran completamente desarrolladas en el módulo, por lo cual la implementación queda sujeta a futuras investigaciones, en la cuales se podrían contrastar los resultados esperados con los obtenidos en su ejecución.

Por la manera en la que se desarrollan las actividades del módulo es posible realizar su implementación en instituciones de básica media como en estudiantes de pregrado, puesto que las actividades propuestas tienen en cuenta estos dos tipos de poblaciones.

#### **Resultados esperados:**

De acuerdo con el módulo elaborado, se considera que en la implementación del mismo pueda ser de vital importancia para la enseñanza de la física, en especial la astronomía, aunque en lo esencial se espera:

Que a través del desarrollo de las diversas actividades contenidas en el módulo los estudiantes tengan ideas concretas en lo que respecta a la Ley de Hubble y Lemaître, ya que al comprender esta ley es posible dar explicaciones al fenómeno de la expansión del universo y sus implicaciones.

Que a través de la construcción y uso del espectroscopio los estudiantes puedan estudiar y analizar las propiedades de la luz en diferentes fuentes, comprendiendo que existe un espectro diferente para cada tipo de luz. También, que los sujetos relacionen los espectros observados con la luz proveniente de estrellas y galaxias.



Otro aspecto que se espera cumplir es que por medio del esquema o secuencia de Hubble los estudiantes comprendan que en el universo existen diferentes tipos de galaxias, y que un primer paso para su estudio es realizar una clasificación basada en sus formas.

## **CONCLUSIONES:**

A continuación, se presentan aspectos relevantes que emergieron del ejercicio investigativo realizado entorno a la ley de Hubble- Lemaître y su enseñanza. De acuerdo con los objetivos planteados surgen algunas conclusiones y reflexiones a nivel conceptual, metodológico y didáctico.

### **Conclusiones de orden conceptual:**

Para comprender de qué manera se da la expansión del universo se hace imprescindible el estudio de la Ley de Hubble - Lemaître; sin embargo, para entender esta ley es necesario comprender temáticas referentes a la espectroscopia, efecto Doppler, clasificación de galaxias, magnitud y corrimiento al rojo; por lo cual, la enseñanza de esta ley traería consigo que los estudiantes puedan comprender diversos temas y, en general la expansión del universo.

Es importante reconocer la clasificación morfológica de las galaxias, puesto que a través de este estudio es posible distinguir y caracterizar los diferentes tipos de galaxias existentes en el universo, logrando comprender su evolución, su formación y, su tiempo de vida.

Cabe considerar, por otra parte, la importancia del estudio de los fenómenos ondulatorios de tipo electromagnético y de tipo mecánico, pues aun cuando estos son diferentes, comparten ciertas características específicas, lo que implica similitudes en sus efectos y aplicaciones.

### **Conclusiones de orden metodológico**

A través del uso de las bases de datos es posible lograr una comprensión conceptual mucho más amplia de algún fenómeno ya sea físico u astronómico en específico, con lo cual, las posibilidades de estudiar ciertas temáticas se abren ampliamente no solo para los profesores e investigadores, sino también para los estudiantes e interesados en hacer uso de las bases de datos.

Al momento de realizar una investigación que implique el uso de bases de datos, se debe tener en cuenta cuáles son los aspectos y temáticas para abordar, esto, debido a que existen diversas

bases de datos con amplia información en diversos temas. En tal medida, se ha de ser específico al momento de utilizar un software de este tipo y saber que ofrece para la investigación.

### **Conclusiones de orden didáctico:**

Dentro del estudio de la astronomía existen diversos proyectos los cuales proporcionan bases de datos reales para que se realicen investigaciones en diversos temas. Mediante la recolección de datos proporcionados por el *Sloan Digital Sky Survey* es posible obtener información precisa y detallada de objetos astronómicos; de igual manera, es posible utilizar estos en diferentes actividades o proyectos. A través del uso de herramientas como el *SkyServer* los estudiantes pueden situarse en el papel de un astrónomo, explorar el universo, y comprender en que consiste el papel de un investigador.

Fue posible realizar la construcción de un módulo para la enseñanza de la ley de Hubble-Lemaître. Dentro del mismo se proponen 3 momentos, en los cuales se realizan diferentes actividades de acuerdo con los objetivos de cada sesión. El módulo se caracteriza por hacer uso de la herramienta *SkyServer* para los momentos 2 y 3, en donde se realizan actividades específicas para la clasificación morfológica de las galaxias y la realización del diagrama de Hubble.

A través de esta investigación, se promueve la enseñanza de algunos tópicos en física, en especial astronomía, mediados por el uso de bases de datos astronómicos, lo que puede generar un acercamiento al trabajo no idealizado de las ciencias.

### **Recomendaciones:**

Para la ejecución del módulo se considera tener en cuenta las siguientes indicaciones:

Se hace necesario el uso de las TIC (Tecnologías de la información y comunicación), pues para el desarrollo de la mayoría de las actividades se hace imprescindible el uso de un ordenador.

El docente que pretenda hacer uso del módulo debe contar con los conceptos teóricos y metodológicos básicos para una buena ejecución del mismo.

Para la implementación del módulo, se sugiere que la población tenga nociones básicas entorno a los fenómenos físicos implicados.

# Referencias

- Instituto de Astrofísica de Andalucía. (05 de 12 de 2012). *Una regla para medir el Universo*. Obtenido de El extraño caso de Henrietta Leavitt y Erasmus Cefeido: <http://henrietta.iaa.es/una-regla-para-medir-el-universo>
- Bagdonas , A., Zanetic, J., & Gurgel, I. (2017). Quién descubrió la expansión del universo? Disputas de prioridad como forma de enseñar cosmología con uso de la historia y filosofía de las ciencias. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39(2), 14.
- Bailey, J., & Slater, T. (2004). A Review of Astronomy Education Research. *Astronomy Education Review*, 2, 26.
- Baro , A. (2011). Metodologías activas y aprendizaje por descubrimiento. *Innovación y Experiencias Educativas*(40), 11.
- Bertomeu, J. (s.f.). *Espectroscopios*. Obtenido de Universitat de Valencia: <https://www.uv.es/~bertomeu/material/museo/instru/pdf/6.pdf>
- Blanton , M., Bershad , M., Bela, A., Albareti, F., Allende , C., & Almeida, A. (2017). Sloan Digital Sky Survey IV: Mapping the Milky Way, Nearby Galaxies, and the Distant Universe. *The Astronomical Journal*, 154(28), 35.
- Camino, N. (2011). La didáctica de la astronomía como campo de investigación e innovación educativas. *I Simpósio Nacional de Educação em Astronomia*, 13.
- Campanario , M., & Moya, A. (1999). ¿Como enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 14.
- Cardona, A. R. (2012). *Breve Historia de la astronomía*. Madrid, España: Nowtilus.
- Carneiro, R., Toscano, J., & Tamara , D. (2009). *Los desafíos de las TIC para el cambio educativo*. Madrid, España: OEI.
- Falcon, N. (2014). Theoretical Deduction of The Hubble Law Beginning with a MoND Theory in Context of the AFRW-Cosmology. (L. Maxmilian, Ed.) *International Journal of Astronomy and Astrophysics*, 11.
- Fons, R. P. (2013). *Enseñanza aprendizaje de la astronomía en el bachillerato*. Valencia, España.
- French, L. (2012). John Goodricke, Edward Pigott, and Their Study of Variable Stars. *The Journal of the AAVSO*, 40, 13.
- Girola , R., Racchiusa, N., & Escudero , J. (2014). Mirada epistemologica y didactica de la Ley de Hubble. *Revista de Enseñanza de la Física*, 11.
- Gunn, J., Siegmund, W., Mannery, E., Owen, R., Huli, C., & Leger, F. (2006). THE 2.5 m TELESCOPE OF THE SLOAN DIGITAL SKY SURVEY. *The Astronomical Journal*, 131(4), 28.
- Hernandez Sampieri, R., Fernández Collao, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología De La Investigación* (6 ed.). México: McGRAW-HILL.

- Hernández, P. (2006). *Ley de Hubble*. Obtenido de Astronomía.net:  
<http://astronomia.net/cosmologia/Hubble.htm>
- Hernandez, R. (2017). Impacto de las TIC en la educación: Retos y Perspectivas. *Própositos y representaciones*, 5(1), 12.
- Karttunen, H., Kroger, P., Oja, H., Poutanen, M., & Donner, K. (2009). *Fundamental Astronomy* (5 ed.). New York: Springer.
- Kovarik, D., Patterson, D., Cohen, C., Sanders, E., Paterson, K., Portery, S., & Fletcher, L. (2017). Educación bioinformática en la escuela secundaria: Implicaciones para promover las carreras de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas. *Life Sciences Education*, 12(3), 29.
- Leavitt, H., & Pickering, E. (1912). Periods of 25 Variable Stars in the Small Magellanic Cloud. *Harvard College*, 173, 4.
- Martínez, E., & Zea, E. (2004). ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZAS BASADAS EN UN ENFOQUE CONSTRUCTIVISTA. *Ciencias de la educación*, 2(24), 22.
- Mo, H., Bosch, F., & White, S. (2010). *Galaxy formation and Evolution*. New York: Cambridge University Press.
- Molina, F., Casas, A., & Rivera, C. (2017). Actitudes hacia la ciencia en bachilleres de colegios distritales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 13(2), 21.
- NASA . (s.f.). *Sistemas de referencia*. Obtenido de Nasa Science, Solar system exploration:  
<https://solarsystem.nasa.gov/basics/chapter2-2/>
- Rodríguez, G., Reyes, J., & Giraldo, M. (2016). Construcción de un diagrama de Hubble: una herramienta para la enseñanza de la astronomía. *Revista Científica*, 24, 7.
- Schneider, P. (2006). *Extragalactic Astronomy and Cosmology*. New York: Springer.
- Sepúlveda, P., & Calderon, I. (2007). Las TIC y los procesos de enseñanza-aprendizaje: la supremacía de las programaciones, los modelos de enseñanza y las calificaciones ante las demandas de la sociedad de conocimiento. *Revista Iberoamericana de Educación*, 44(5), 14.
- Solbes, J., Montserrat, R., & Furió, C. (2007). El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: Implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales* (21), 27.
- Steiner, J. (2006). The origin of the Universe. *Revista de Estudios Avanzados*, 20(58), 16.
- Szalay, A., Gray, J., Thakar, A., Kunszt, P., Malik, T., Raddick, J., . . . VandenBerg, J. (2002). The SDSS SkyServer: Public Access to the Sloan Digital Sky Server Data. *Proceedings of the 2002 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, 11.
- Torres Carrillo, A. (1998). *Enfoques cualitativos y participativos en investigación social*. Bogotá, Colombia: Arfin Ediciones.
- Wilgenbus, D., & Léna, P. (2011). Early science education and astronomy. *The Role of Astronomy in Society and Culture*(260), 13.
- Young, H., & Freedman, R. (2009). *Física Universitaria* (12 ed., Vol. 2). México: Pearson Educación.

# ANEXOS

## MÓDULO

### **MÓDULO PARA LA ENSEÑANZA DE LA LEY HUBBLE- LEMAÎTRE MEDIANTE EL USO DE BASES DE DATOS ASTRONÓMICOS**

#### DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO

El presente módulo es una propuesta elaborada para la enseñanza de la astronomía, abordando específicamente Ley de Hubble- Lemaître, una ley que describe un modelo para el universo en continua y constante expansión (Falcon, 2014). Dentro de este se abordan temáticas entorno a la espectroscopía, efecto Doppler, clasificación de galaxias, su magnitud y corrimiento al rojo y el diagrama de Hubble. El módulo puede ser implementado por un profesor formado en ciencias físicas con estudiantes de educación básica como a nivel de educación superior.

El módulo cuenta con recursos de la información y comunicación (TIC), esto, debido a que mediante la implementación de estas herramientas es posible incrementar el grado de significancia y concepción educativa, instaurando nuevos modelos de comunicación, además de generar espacios de formación, información, debate y reflexión, consiguiendo una metodología más activa en el aula y rompiendo las barreras del tradicionalismo (Hernandez, 2017). Asimismo, la aplicación de las TIC digitales posibilita crear entornos que integran los sistemas semióticos conocidos y amplían la capacidad humana para (re)presentar, procesar, transmitir y compartir grandes cantidades de información con cada vez menos limitaciones de espacio y de tiempo (Carneiro, Toscano, & Tamara, 2009).

Para el desarrollo del módulo se proponen diferentes actividades organizadas de manera sistemática que otorguen bases específicas para la comprensión general de la Ley Hubble-Lemaître. Las actividades propuestas pueden desarrollarse en 3 sesiones, siendo cada sesión de 2 horas aproximadamente.

## PRIMER MOMENTO

### SESIÓN 1

#### CONSTRUCCIÓN DE UN ESPECTROSCOPIO CASERO PARA EL ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LA LUZ

El espectroscopio es un instrumento diseñado para el análisis de la luz. Es a través de este análisis que se puede obtener información sobre ciertos fenómenos físicos, así como las propiedades y características de los cuerpos observados. En la actualidad se utiliza este instrumento en una gran diversidad de áreas, desde la investigación teórica en química o física hasta la industria química o la medicina (Bertomeu, s.f.). En la astronomía, la implementación de la técnica espectroscópica es fundamental para el análisis espectral, pues mediante este método es posible estudiar variables como la composición química, densidad, temperatura y movimiento de las estrellas, nebulosas y otros objetos astronómicos.

En esta sesión usted construirá su propio espectroscopio y podrá utilizarlo para analizar el espectro de diferentes fuentes de luz.

#### Materiales y recursos necesarios

- Esquema del espectroscopio impreso en papel
- Cartulina negra
- Lápiz
- Regla
- Tijeras
- Pegamento de barra
- CDROM
- Marcador permanente
- Bisturí

#### Procedimiento:

- Tome la plantilla principal del espectroscopio (final del módulo), recórtela y sobrepóngala sobre la cartulina negra para posteriormente marcar los bordes con ayuda de un lápiz.

- Recorte la cartulina sobre las marcas hechas y luego pegue el esquema del espectroscopio sobre la misma; con ayuda de una regla realice los dobleces del espectroscopio.
- Recorte la ranura de la parte delantera del espectroscopio con ayuda de un bisturí, de manera que la anchura sea lo más uniforme y delgada posible (1 milímetro de ancho).
- Tome el CD ROOM y recorte una parte en forma triangular, para ello trace 2 líneas que vayan de forma radial (desde el centro hacia afuera). El tamaño del triángulo depende de la anchura del espectroscopio. El CD servirá como una rejilla de difracción, puesto que cumple con la función de descomponer cada tipo de luz en su espectro característico.
- Coloque el segmento triangular dentro del espectroscopio; tenga en cuenta que la cara que refleja la luz debe ir hacia arriba, es decir, mirando hacia el orificio de 1 milímetro.
- Pegue las solapas y cierre el espectroscopio.

Finalizada la construcción del espectroscopio observe y analice los espectros de diferentes fuentes de luz, tales como:

Tubo fluorescente

Bombilla blanco frío

Bombilla blanco cálido

Bombilla incandescente

Lámpara de sodio

Luego de la observación, responda las siguientes preguntas:

- ¿Qué diferencias existen entre los espectros de una bombilla blanca cálida y una lámpara de sodio?
- ¿Qué aspecto tiene el espectro producido por el tubo fluorescente?
- ¿Qué líneas características aparecen en el espectro de la bombilla blanca fría? ¿A qué se deben estas líneas?

## SESIÓN 2

### EL EFECTO DOPPLER

El efecto Doppler hace referencia a un cambio aparente en la frecuencia de una onda percibida por un observador que se mueve en relación con su fuente y viceversa. El primero en describir este fenómeno fue el físico austriaco Christian Doppler en el año 1842. Posteriormente, en 1848 el astrónomo francés Hippolyte Fizeau, descubrió independientemente el mismo fenómeno en el caso de las ondas electromagnéticas.

Para comprender y conceptualizar en qué consiste el efecto Doppler, ingrese en su navegador preferido a la aplicación web “*The Doppler Effect*” a través del siguiente enlace: <http://physics.bu.edu/~duffy/HTML5/doppler.html> Allí encontrará una simulación que muestra el cambio de frecuencia de una onda para un observador que se mueve respecto a su fuente y viceversa. De igual manera, en la última sección de la página encontrará una breve descripción del fenómeno y los créditos correspondientes.

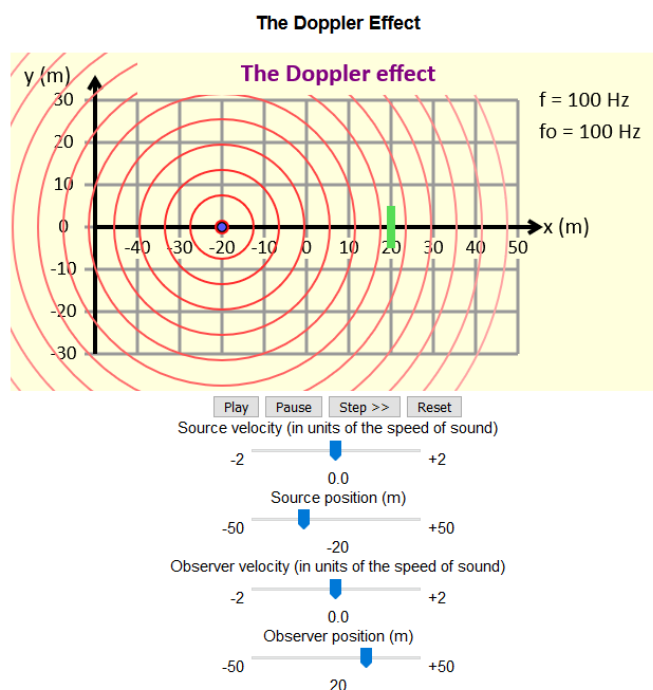


Ilustración 1 Simulación Efecto Doppler



Dentro de la simulación usted podrá variar tanto la velocidad de la fuente como la del observador; asimismo, podrá cambiar la posición de los cuerpos respecto al eje X. Recuerde que la frecuencia emitida por la fuente  $f$  equivale a 100 Hz, mientras que la frecuencia percibida por el observador  $f_0$  depende directamente de los ajustes hechos por usted.

Luego de relacionarse con el Software y sus características atienda las siguientes indicaciones:

Calcule el período de oscilación percibido por el observador dentro de las siguientes situaciones:

1. Si tanto la fuente como el observador permanecen estáticos
2. Si la fuente se mueve hacia el observador con una velocidad de 0.5 m/s
3. Si el observador se acerca a la fuente con una velocidad de -0.6 m/s
4. Si la fuente se mueve hacia el observador con una velocidad de 0.8 m/s y el observador se mueve hacia la fuente con velocidad de -0.5 m/s

Posteriormente, responda las siguientes preguntas:

5. ¿Qué sucede con la frecuencia si tanto la fuente como el observador permanecen estáticos?
6. ¿Qué sucede con la frecuencia percibida por el observador si la fuente se acerca al con una velocidad determinada?, y en caso contrario, ¿si el observador se acerca a la fuente?
7. Describa qué sucede con la frecuencia si tanto la fuente como el observador se acercan, y en caso de que ambos se alejen ¿qué ocurre?
8. ¿La frecuencia percibida por el observador depende directamente de la velocidad de la fuente emisora?

Por último, describa en sus propias palabras en qué consiste el efecto Doppler.

Nota: Al igual que en las ondas del sonido, la longitud de onda de la luz también sufre un estiramiento o contracción debido al efecto Doppler, lo que implica que las líneas espectrales pueden ser desplazadas hacia el extremo rojo o extremo azul del espectro electromagnético.

**FORMA DE ENTREGA:** Las respuestas deben ser entregadas en un informe escrito a mano por cada por cada estudiante del grupo. El escrito debe contener la respectiva información del estudiante y el respectivo desarrollo tanto de las ideas como de los problemas propuestos.

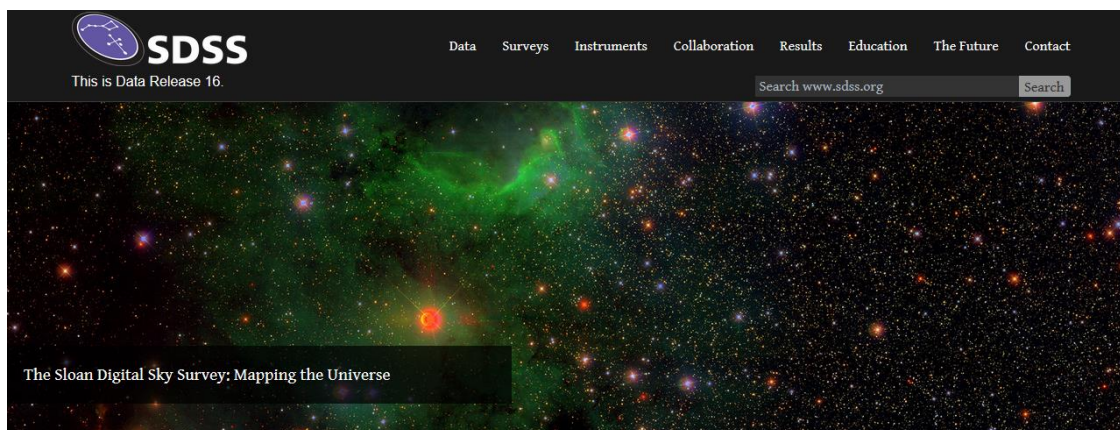
## SEGUNDO MOMENTO

### SESIÓN 3

#### CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE GALAXIAS MEDIANTE EL USO DE LA HERRAMIENTA SKYSERVER

Las galaxias son los componentes básicos del universo, pues son los sistemas que dan origen a la formación de estrellas y metales. Algunas de estas estructuras son muy simples, ya que están compuestas únicamente de estrellas, otras que están hechas principalmente por gas neutro (HI), aunque también existen sistemas complejos que poseen varios componentes como estrellas, gas neutro, gas ionizado (HII)<sup>11</sup>, polvo, nubes moleculares, entre otros (Karttunen et al., 2009). Dado que en el Universo existen diferentes tipos de galaxias, para facilitar su estudio es necesario realizar una clasificación de las mismas basadas en sus diferentes formas.

Para clasificar las galaxias inicialmente deberá visualizarlas, para ello ingrese a la herramienta SkyServer, la plataforma en línea propiciada por el proyecto general del SDSS. Para ello acceda a la página principal del Sloan a través del siguiente enlace: <https://www.sdss.org/>. Posteriormente de clic en la sección *Data Release 16*; dentro de esta sección encontrará las herramientas para acceder a las bases de datos, allí encontrará el SkyServer.



The Sloan Digital Sky Survey has created the most detailed three-dimensional maps of the Universe ever made, with deep multi-color images of one third of the sky, and spectra for more than three million astronomical objects. Learn and explore all phases and surveys—past, present, and future—of the SDSS.

Ilustración 2 Página principal del Sloan Digital Sky Survey.

<sup>11</sup> Se hace referencia a un gas ionizado cuando los átomos que lo conforman han perdido o ganado electrones.

Dentro del SkyServer encontrará diferentes secciones de interés, aunque para este caso debe acceder a la sección educación; dentro de esta ingrese a proyectos avanzados, allí encontrará diferentes proyectos y actividades, seleccione el proyecto titulado “Galaxias”.

Ilustración 3 Sitio Web SkyServer.

Después de haber ingresado al apartado “galaxias”, encontrará la primera actividad, la cual consiste en clasificar las galaxias según su morfología. Para ello, oprima clic en la sección “*Get Fields*”, con el cual se obtienen las imágenes de una lista de galaxias con sus respectivos campos.

**Classifying Galaxies**

Pretend that you are an astronomer working shortly after Edwin Hubble made his startling discovery. Now that you know the “nebulae” are actually other galaxies like our own, you must come up with a way to classify the galaxies.

**Exercise 1:** Look at the following galaxies. Divide them into groups based on features they have in common. There is no set number of groups.

Click one of the links in the table below to use the *Get Fields* tool to look up each galaxy. You will see a picture of the field the galaxy is in. Because galaxies tend to cluster together, some of the fields have more than one large and interesting galaxy. In all the other frames, the largest galaxy should be obvious. When you click another link, the new field will appear in the same window. You may want to print the fields out, so you can compare the galaxies side-by-side.

Use this SkyServer workbook to keep track of your groups.

Run	Camcol	Field
752	1	244
2662	4	243
752	1	331
1737	6	11
756	4	198
2738	2	196

Ilustración 4 Tabla Galaxias

También puede hacer clic en uno de los enlaces en la tabla a para usar la herramienta y obtener una imagen del campo en la que se encuentran las galaxias.

Ejemplo:



Ilustración 5 Galaxias obtenidas mediante el SkyServer

Observe como mínimo un total de 15 galaxias, anotando sus diferencias, sus similitudes y sus características tales como el color, forma y tamaño. Una vez que haya finalizado con la observación responda las siguientes preguntas:

- ¿Al analizar las imágenes, qué diferencias noto en las galaxias visualizadas?, ¿por qué cree que existen esas diferencias?
- ¿Qué características de las galaxias tendría en cuenta para clasificarlas?
- ¿De qué manera ordenaría y clasificaría todos los tipos de galaxias vistos?, realicé un dibujo o esquema en el cual se plasme su método para clasificar y ordenar las galaxias visualizadas.

## SESIÓN 4

Finalizada la observación y distinción de las galaxias en la sesión anterior proceda a clasificarlas y ordenarlas de acuerdo a la secuencia o diapason de Hubble. Para ello visualice la ilustración 5 la cual hace referencia a la secuencia propuesta por Hubble en su versión de 1936 y organice las galaxias según corresponda.

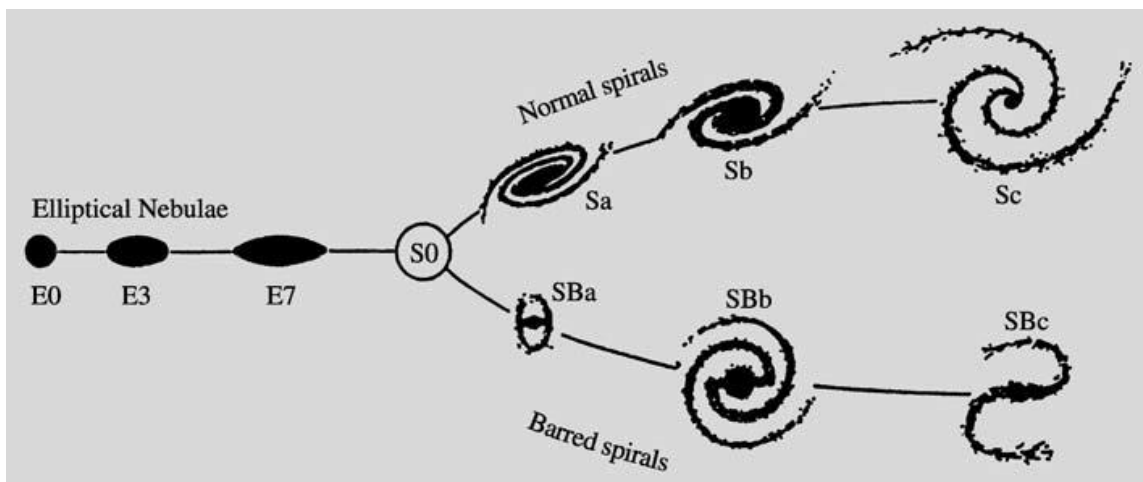


Ilustración 6 Representación esquemática de la secuencia Hubble. Recuperado de Fundamental Astronomy Fifth Edition

En esta secuencia se diferencian los tres tipos principales de galaxias: elípticas (E), lenticulares (S0) y espirales (S). Las espirales se dividen en dos secuencias, espirales normales y espirales barradas.

De acuerdo con la ilustración 5, organice al menos 10 galaxias visualizadas en la sesión 1 en la siguiente tabla según corresponda:

Tipo de galaxia (Elíptica, Espiral normal, Espiral barrada)	Clasificación (E, S0, S)

*Tabla 1 Clasificación Galaxias*

Después de completar la tabla responda las siguientes preguntas:

- ¿Qué tan similar es la forma en que usted clasifico las galaxias en comparación al método utilizado por Hubble?
- ¿Qué se logra al hacer la clasificación de galaxias por el método realizado por usted, y que se logra mediante el método utilizado por Hubble?

**FORMA DE ENTREGA:** Las respuestas de esta sección deben ser entregadas en un informe escrito a mano por cada por cada estudiante del grupo. El escrito debe contener la respectiva información del estudiante y el respectivo desarrollo tanto de las ideas como de los problemas propuestos. Es posible completar la tabla No. 2 y entregarla en Microsoft Excel.

## TERCER MOMENTO

### REALIZACIÓN DIAGRAMA HUBBLE A TRAVÉS DE LA HERRAMIENTA SKYSERVER

Durante cientos de años, todos, incluidos los astrónomos habían asumido que el universo era un escenario estable e inmutable. Sin embargo, en las décadas de 1910 y 1920, varios físicos y astrónomos realizaron importantes descubrimientos que contradecían la idea de un universo estático. Los descubrimientos que revolucionaron estas ideas estuvieron a cargo de importantes personajes de ciencia como Edwin Hubble, Georges Lemaître, Vesto Slipher y Alexander Friedmann. Se podría decir que la cosmología científica nació con ley de Hubble- Lemaître, una ley planteada inicialmente por Georges Lemaître en 1927 y, posteriormente en 1929 por Edwin Hubble.

Para comprender en qué consiste la ley de Hubble- Lemaître en esta actividad usted realizará su propio diagrama de Hubble; para ello debe encontrar la magnitud de determinadas galaxias y posteriormente su corrimiento al rojo. Finalmente tendrá que graficar estas dos medidas físicas y observar su relación.

Para crear un diagrama de Hubble es necesario trazar distancias a diferentes galaxias, aunque como ya es sabido, medir distancias en astronomía es algo complejo; sin embargo, para hacer el diagrama no es necesario medir distancias absolutas, más bien distancias relativas. Para ello, los astrónomos necesitan alguna forma de comparar galaxias. Dado que las galaxias son tan similares, los astrónomos asumen que todas tienen las mismas propiedades promedio, como brillo y tamaño. Cuando asumimos que el brillo y el tamaño intrínsecos de dos galaxias son iguales, cualquier diferencia de brillo o tamaño entre ellas se debe solo a las diferentes distancias de nosotros. Por ejemplo, podemos suponer que una galaxia que parece dos veces más grande que otra galaxia está a una distancia más pequeña de la tierra (Szalay et al. 2002).

Se pueden comparar galaxias comparando sus magnitudes. La magnitud es una medida del brillo de cualquier objeto astronómico. La magnitud se establece a partir de una escala, en donde los números más grandes corresponden a objetos más débiles, mientras que los números más pequeños hacen referencia a los objetos más brillantes. Los objetos más brillantes tienen magnitudes negativas. Ahora bien, un aumento de un número en magnitud corresponde a un aumento de brillo en un factor de aproximadamente 2,51: un objeto de magnitud cuatro es 2,51 veces más brillante que un objeto de magnitud cinco. El sol tiene magnitud -26. La estrella más

brillante del cielo del norte, Sirio, tiene magnitud  $-1,5$ . La galaxia más brillante es la galaxia de Andrómeda, que tiene una magnitud de  $3,5$  (Szalay et al. 2002).

## MAGNITUDES

OBJETOS	MAG. AP.	MAG. AB.	DISTANCIA
Vega	0,03	0,6	25 años luz
Andrómeda	4,4	-21,9	2,3 Mill. Años l.
Nebulosa del Cangrejo	8,4	-3,2	6 300 años luz
Canopus	-0,6	-5,5	309 años luz
Deneb	1,25	-7,2	1 425 años luz
Nebulosa de Orión	3	-4,8	1 270 años luz
P Cygni	4,8	-8,6	7 000 años luz
Eta Carinae	6,2	-5	7 500 años luz
Galaxia del Sombrero	8	-22,6	28 Mill. Años l.
Sirio B	8,3	11,2	8,6 años luz
Omega Centauri	3,8	-9,9	17 800 años luz

*Ilustración 7 Tabla de magnitudes en diferentes objetos astronómicos. Recuperado de <https://astroaficion.com/2017/01/19/magnitud/>*

## SESIÓN 5

Ingresa de nuevo al SkyServer, sección educación y posteriormente en “*advanced projects*”, una vez adentro, seleccione el proyecto titulado “*Hubble Diagram*”, allí encontrará las actividades y su descripción.

The screenshot shows the SkyServer DR16 plus website interface. The main navigation bar includes links for Home, Data, Schema, Education, Astronomy, SDSS, Contact Us, Download, Site Search, Help, and History (marked as NEW!). The 'DR16 Projects' section is active, displaying a grid of project cards under the 'Advanced Projects' heading. The 'Hubble Diagram' project is selected, showing a description and a thumbnail image of a galaxy. Other visible projects include 'Color' and 'Spectral Types'. A sidebar on the left lists various project categories like 'Basic', 'Advanced', 'Research Challenges', and 'For Kids'.

*Ilustración 8 Proyecto Diagrama Hubble*



## Magnitudes

En la primera actividad tendrá que observar algunas galaxias en la base de datos del SkyServer y posteriormente encontrar sus magnitudes; esto, con el fin de que pueda tener una idea aproximada de las distancias a la que se encuentran dichos objetos. Para realizar esta actividad acceda a la sección “*simple diagram*” y visualice la tabla que allí se presenta (ilustración 10). En esta tabla se encuentran los ID de los 6 objetos astronómicos y sus respectivas coordenadas astronómicas (declinación y ascensión recta).

## Declinación y ascensión recta

La declinación (DEC) y la ascensión recta (RA) son el equivalente a la latitud y longitud en la esfera celeste. La declinación se expresa en grados al igual que la latitud; declinaciones + y – hacen referencia al norte y al sur respectivamente. La ascensión recta se suele expresar en grados, sin embargo, es más común especificar estas unidades en horas, minutos y segundos de tiempo, esto, porque el firmamento parece girar  $360^\circ$  en 24 horas o  $15^\circ$  en una hora (NASA, sf).

La Ascensión Recta y la Declinación

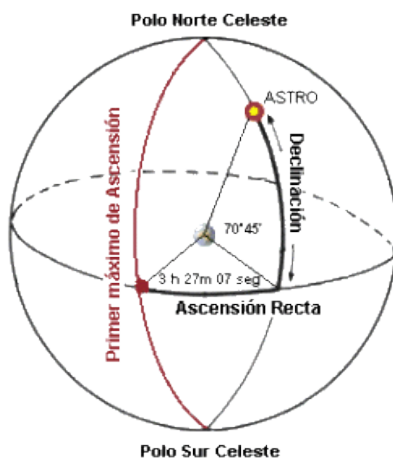


Ilustración 9 Representación gráfica de la Declinación y Ascensión Recta. Recuperado de [http://www.astronum.net/astronum/temas/curso/parte\\_2/parte\\_2.htm](http://www.astronum.net/astronum/temas/curso/parte_2/parte_2.htm)

<i>Object ID</i>	<i>Right Ascension</i>	<i>Declination</i>
1237666408439939277	354.35	0.39167
1237663784195195105	354.98998	0.13519
1237648704592806164	219.31858	0.17731
1237659895636296017	260.80622	58.58956
1237656529458233684	263.94885	54.36385
1237651800697274648	150.09651	-0.27059

Ilustración 10 Tabla Galaxias

El SkyServer posibilita encontrar la información de una galaxia, así como sus características; para ello acceda a la ID del objeto en cuestión. Una vez que se acceda a la ID del objeto, al lado derecho de la imagen principal se encontrarán cinco datos: u, g, r, i, z. Los cuales corresponden a las magnitudes de la galaxia en las cinco longitudes de onda utilizadas por el SDSS. Seleccione una de estas magnitudes y anótela en una hoja de Excel. Para facilitar el acceso a esta información pulse en la sección “*Guardar notas*”, así podrá retomar las galaxias visualizadas de una manera más fácil.

**DR16 SDSS J233957.60+000806.6**

Look up common name

HandelCruz Logout Help

Type	run	rerun	camcol	field	obj	SDSS ObjID
GALAXY	4263	301	4	82	225	1237663784195195105

RA, Dec		Galactic Coordinates (l, b)	
Decimal	Sexagesimal	l	b
354.990016147, 0.135190139	23.39:57.60, +00:08:06.68	87.800129224	-57.776475400

**Imaging** **WARNING:** This object's photometry may be unreliable. See the photometric flags below.

Flags: DEBLEND\_DEGENERATE DEBLENDED\_AT\_EDGE  
BAD\_MOVING\_FIT BINNED1 INTERP COSMIC\_RAY  
NODEBLEND CHILD BLENDED

Magnitudes				
u	g	r	i	z
17.60	16.25	15.54	15.05	14.74

Magnitude uncertainties				
err_u	err_g	err_r	err_i	err_z
0.02	0.00	0.00	0.00	0.01

Image MJD	mode	Other observations	parentID	nChild	extinction_r	PetroRad_r (arcsec)
52963	PRIMARY	18	1237663784195195104	0	0.08	6.61 ± 0.574

Mjd-Date	photoZ (KD-tree method)	Galaxy Zoo 1 morphology
11/20/2003	0.067 ± 0.0134	Uncertain

Ilustración 11 ID Galaxia y características

Para esta actividad se debe tener en cuenta que: Si que las seis galaxias emiten aproximadamente la misma cantidad de luz, entonces las diferencias en sus magnitudes se deben solo a sus diferentes distancias de nosotros. Si una galaxia tiene una magnitud mayor que otra, se asume que esta debe estar más lejos.

Para la construcción del diagrama de Hubble es necesario obtener tanto las magnitudes de las seis galaxias como su desplazamiento al rojo; es por ello que en la siguiente actividad se propone a los estudiantes encontrar los desplazamientos de las galaxias utilizadas en la actividad 1.

## Desplazamiento al rojo

Se denomina desplazamiento al rojo o Redshift al fenómeno que muestra un aumento en la longitud de onda proveniente de una onda electromagnética. Este efecto tiene aplicaciones astronómicas, pues mediante su medición se puede obtener información valiosa de los objetos celestes. Por ejemplo, en los espectros estelares las líneas espectrales a menudo se desplazan hacia el extremo azul (longitudes de onda más cortas) o rojo (longitudes de onda más largas) del espectro electromagnético. El desplazamiento hacia el azul significa que la estrella se acerca, mientras que un desplazamiento al rojo señala que está retrocediendo (Karttunen et al., 2009).

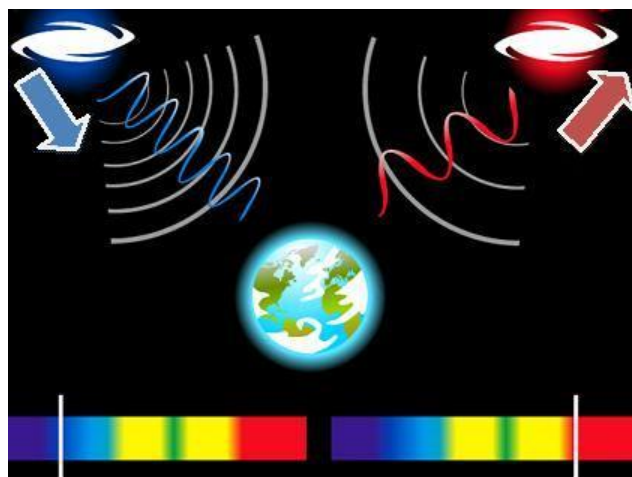


Ilustración 12 Representación gráfica del desplazamiento al rojo y al azul en el espectro. Recuperado de: <https://astrodidactica.com/2013/09/21/el-universo-siempre-tuvo-el-mismo-tamano/>

De acuerdo con lo anterior, se define el corrimiento al rojo o redshift  $z$  de la siguiente manera:

$$z = \frac{\lambda_r - \lambda_e}{\lambda_e}$$

Donde  $\lambda_r$  es la longitud de onda recibida, y  $\lambda_e$  la emitida.

Ahora bien, para realizar esta actividad acceda al explorador de objetos del SkyServer, pues allí está contenida la información. Para ello, vuelva a la sección donde se encuentra la tabla (ilustración 7) y oprima clic en cada una de las galaxias; seguido de ello, se ha de buscar el espectro característico de cada una de las galaxias, el cual aparece en la sección en la última sección de la página principal. Allí aparecerá una entrada de datos llamada “Redshift  $z$ ”, la cual corresponde al desplazamiento al rojo de cada objeto. Este deberá ser anotado en la tabla de Excel, en la sección “desplazamiento al rojo ( $z$ )”.

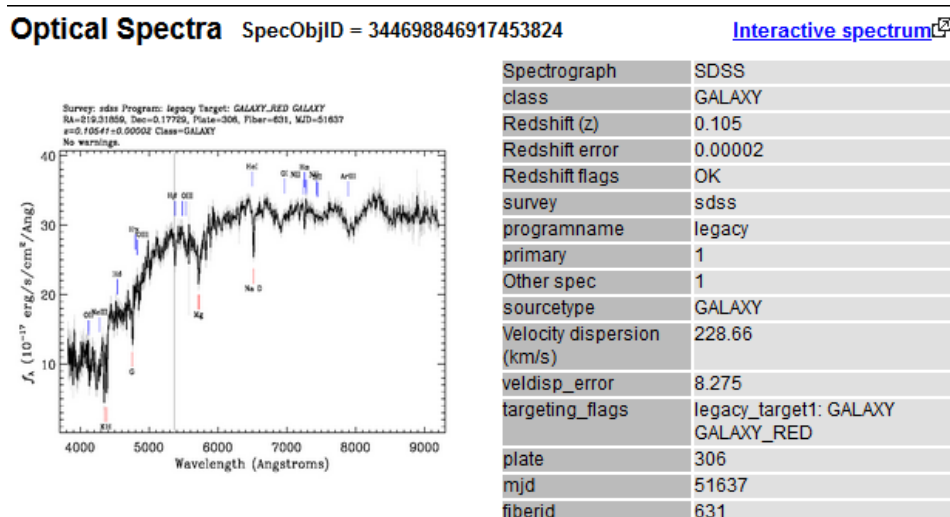


Ilustración 13 Espectro óptico y características

Posterior a la identificación de la magnitud y de corrimiento al rojo responda las siguientes preguntas:

- ¿Qué significa encontrar la magnitud en una galaxia?
- ¿Por qué es posible utilizar las magnitudes como sustituto de las distancias?
- ¿Qué significa el corrimiento al rojo?
- ¿Qué implica que haya corrimiento al rojo en una galaxia?

## SESIÓN 6

### Diagrama Hubble

Una vez obtenida la magnitud (distancia relativa) y el corrimiento al rojo de las seis galaxias realice un diagrama de Hubble. Este diagrama le ayudará a comprender explícitamente en qué consiste la Ley de Hubble- Lemaître.

Para realizar el diagrama utilice un programa de gráficos como Microsoft Excel. Cree una tabla que contenga dos columnas de datos, una para el corrimiento al rojo y otra para la magnitud<sup>12</sup>. Posteriormente ingrese los datos correspondientes de cada galaxia en su respectiva columna, tal como se evidencia en la ilustración 10.

Corrimiento al rojo (Å)	Magnitud (Lv)
0,009	15,30
0,060	15,54
0,105	16,10
0,152	16,79
0,238	17,42
0,314	18,44

Ilustración 14 Tabla de datos

Una vez ingresado los datos cree un diagrama de dispersión<sup>13</sup>. Para ello se debe seleccionar los datos de la tabla anterior y dar clic en insertar, luego elegir en la sección de gráficos dicho diagrama. Se ha de etiquetar el eje x como “desplazamiento al rojo” y el eje y como “Magnitud”. Una vez creado el diagrama en este se mostrará una gráfica muy específica (ilustración 15).

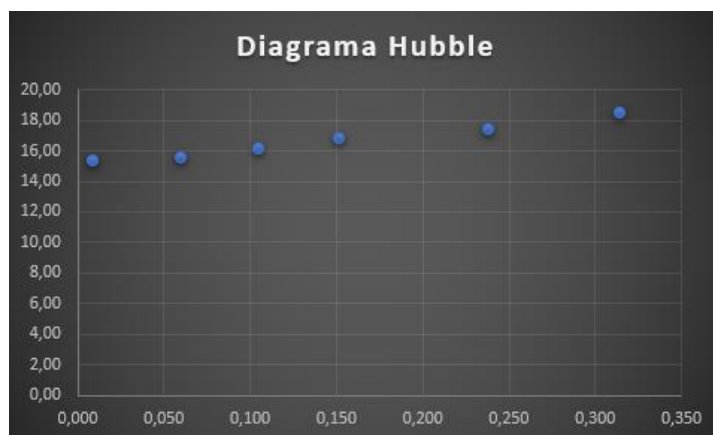


Ilustración 15 Diagrama Hubble creado en Microsoft Excel

<sup>12</sup> Puede utilizar la columna creada para la magnitud en la actividad 1

<sup>13</sup> Generalmente se utiliza el grafico de dispersión para hallar una relación entre 2 variables.

En el programa Excel es posible aplicar una línea de tendencia, con la cual se traza una línea que pase lo más cerca a todos los puntos de datos. Observe qué tan lejos este cada punto de esta línea.

Finalizado el diagrama y su análisis responda las siguientes preguntas:

- ¿Sus datos muestran realmente una relación lineal entre la magnitud y el corrimiento al rojo?, de ser así ¿qué significa esta relación lineal?
- ¿Cómo puede relacionar la expansión del Universo con el diagrama creado?

**FORMA DE ENTREGA:** Las respuestas de esta sección deben ser entregadas en un informe escrito a mano por cada por cada estudiante del grupo. El escrito debe contener la respectiva información del estudiante y el respectivo desarrollo tanto de las ideas como de los problemas propuestos. Para la entrega del diagrama es imprescindible que se haya desarrollado en Microsoft Excel u otro programa graficador.

**Nota:** Posterior a la creación del diagrama, los estudiantes podrán apreciar que la magnitud del desplazamiento al rojo no es aleatoria, sino directamente proporcional a la distancia a la que se encuentra una galaxia; esta correlación hace referencia a la Ley de Hubble- Lemaître, la cual se puede expresar como:

$$cz = H_0 r$$

donde  $C$  es la velocidad de la luz,  $Z$  es el corrimiento al rojo espectroscópico,  $r$  es la distancia y  $H_0$  es una constante de proporcionalidad llamada constante de Hubble. De acuerdo con Hernández (2006), *“Esta relación aproximada para pequeños desplazamientos al rojo podría implicar, por extrapolación directa, una relación lineal entre la velocidad y la distancia que se cumpliera para cualquier distancia considerada”*.

Es importante destacar que para la construcción del diagrama pueden ser utilizadas otras galaxias que tengan su respectivo espectro y corrimiento al rojo. Para ello los estudiantes pueden explorar y navegar en la herramienta SkyServer y seleccionar sus galaxias preferidas, se debe tener en cuenta la posición astronómica de los objetos (ascensión recta y declinación).

PLANTILLA ESPECTROSCOPIO

