



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

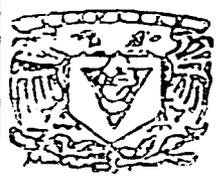
FACULTAD DE CIENCIAS

LAS ESTRELLAS EN EL CIELO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
F I S I C O
P R E S E N T A :
ISAURO FIGUEROA RODRIGUEZ

TESIS CON
VALIA DE ORIGEN

M. EN C. JULIETA NORMA FIERRO GOSSMAN



FACULTAD DE CIENCIAS UNAM

MEXICO, D.F.

2002.

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES
FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION DE INVESTIGACIONES



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Paginación Discontinua



M. EN C. ELENA DE OTEYZA DE OTEYZA

Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunico a usted que hemos revisado el trabajo escrito.
"Las estrellas en el cielo"

realizado por Isauro Figueroa Rodríguez

con número de cuenta 8448135-1 , quién cubrió los créditos de la carrera de Física.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio

Atentamente

Director de Tesis

Propietario

M. EN C. JULIETA NORMA FIERRO GOSSMAN

Propietario

FIS. JUAN JOSE ESPINOSA RIVERA

Propietario

DR. JUAN AMERICO GONZALEZ ESPARZA

Suplente

DR. RENE CARRILLO MORENO

Suplente

FIS. JOSE CATARINO MIGUEL NUÑEZ CARRERA

Consejo Departamental de Física

DRA. PATRICIA WEINSTEIN MENACHE
Coordinadora de Licenciatura

A la memoria de mi abuela,
Medarda.

A mis padres,
Meliton y Esperanza.

A mi hijo,
Armando.

A mi hermano,
Fernando.

A ella...

Nunca dice una palabra.

A la que espera que llegue el día.

Gris o verde.

Igual puede ser.

Siempre escucha,

Ella a la distancia.

Libre camina,

Libre como el aire,

Espera a que llegue el día...

Agradecimientos

Con mucho cariño, un especial agradecimiento a la M. en C. Julieta N. Fierro Gossman por su valiosa paciencia y colaboración en el desarrollo de este trabajo. Por los malos momentos que le hice pasar... perdón. Por todos sus consejos y su apoyo... mil gracias.

Mi gratitud a la Jefa de Departamento de Física de la Escuela Nacional Preparatoria Alicia Allier Ondarza y Juan José Espinosa Rivera, por todo el apoyo que he recibido del proyecto PAPIME de Astronomía, y que ha hecho posible la impresión de este trabajo.

Quisiera expresar mi agradecimiento a quienes me ayudaron, de una u otra manera para que este trabajo se pudiera escribir: a Mauro, por los tres meses que tuve su computadora; a Rodrigo, por su detallado trabajo fotográfico y a Ana Giselle por olvidar su computadora en mi casa, durante todo el tiempo que la necesite, también por revisar el manuscrito.

A la memoria de Miguel Ángel Herrera Andrade, quien hizo valiosas sugerencias para enriquecer este trabajo.

ÍNDICE

		Página	
Introducción	1	
Capítulo	I	Una mirada al cielo	5
	1.1	Bosquejo histórico	7
	1.1.1	Astrología	21
	1.1.2	La astronomía de México	27
	1.2	Ubicación en el cielo	32
	1.2.1	Constelaciones	38
	1.2.2	Las coordenadas celestes	46
Capítulo	II	Propiedades físicas de las estrellas	51
	II.1	Distancia a las estrellas	52
	II.2	El brillo de las estrellas	54
	II.3	Tamaño de las estrellas	61
	II.4	Análisis espectral	66
	II.5	Temperatura de la superficie de las estrellas	72
	II.6	Diagramas Hertzsprung-Russell	76
	II.7	Reacciones nucleares	78
Capítulo	III	Evolución estelar	82
	III.1	Nacimiento de las estrellas	83
	III.2	Vida de una estrella	86
	III.3	El Sol nuestra estrella	89

Capítulo	IV	Muerte de las estrellas	106
	IV.1	Estrellas de masa pequeña	107
	IV.1.1	Enanas café o marrón	107
	IV.1.2	Enanas rojas	110
	IV.2	Estrellas de masa mediana	113
	IV.2.1	Gigantes rojas	114
	IV.2.2	Enanas blancas	117
	IV.3	Estrellas de masa grande	118
	IV.3.1	Supernovas	119
	IV.3.2	Estrellas de neutrones	121
	IV.3.3	Hoyos negros	123
Capítulo	V	Actividades didácticas	127
	V.1	Actividades didácticas manuales	128
	V.1.1	Constelaciones de bolsillo	128
	V.1.2	Astrolabio direccional	132
	V.1.3	Paralajémetro	135
	V.1.4	Prisma de agua	139
	V.2	Actividades didácticas fenomenológicas	142
	V.2.1	Mapas de estrellas	142
	V.2.2	La prueba de la llama	146
	V.2.3	El color de la piel	148
	V.2.4	La estrella David y la estrella Goliath	150
	V.3	Observación con telescopio	153
	V.3.1	Filtro solar	154
	V.3.2	Otros astros	157

Conclusión final	160
Apéndice	
A. Programa de la materia de Astronomía	163
B. Proyecto PAPIME	187
Referencias	198
Bibliografía	201

INTRODUCCIÓN

El proceso que inició en 1996 el Consejo Académico de Bachillerato con las reformas al Plan y Programas de estudio de la Escuela Nacional Preparatoria (ENP), tuvo como producto que la asignatura de Cosmografía, que desde hacía más de treinta años estaba a cargo del Colegio de Geografía y desde hace más de cien años se impartía en la ENP, pasara oficialmente al Colegio de Física, cambiando su denominación por la de Astronomía. En el nuevo plan de estudios de la ENP, quedó esta materia como optativa en 6° año, para Área I (Físico-Matemáticas y de las Ingenierías) y Área II (Químico-Biológicas) y su carácter es teórico; impartándose tres horas de clase por semana y 90 horas en total. El programa de Astronomía consta de cinco unidades:

1. Historia de la astronomía y principios básicos
2. El sistema solar
3. Las estrellas
4. La Vía Láctea y otras galaxias
5. Cosmología

El programa completo se muestra en el Apéndice A.

Cuando se reestructuró el programa, se tuvo que diseñar un plan de actividades que diera respuesta a la necesidad del bachillerato. Dicho plan se puso en marcha con un Proyecto PAPIME -La enseñanza de la Astronomía en el bachillerato: Una estrategia de aprendizaje de las ciencias- (en el Apéndice B se muestra el proyecto completo) con ello se pudo realizar un Diplomado en Astronomía, que dio inicio en Febrero de 1999, con la participación de 45 docentes de la ENP y del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), con una duración de un año. Además de contar con el apoyo de los investigadores del Instituto de Astronomía para que junto con un grupo de académicos de la ENP llevaran a cabo la discusión y modificación del programa de la asignatura, que posteriormente se presentara en el Consejo Técnico para su aprobación.

En el mes de Agosto del 2001, participé en un Encuentro de Profesores de Astronomía, con un taller de Construcción de Astrolabios, con mi sistema se construyeron estos instrumentos, por lo cual consideramos que el Astrolabio lo conocen los profesores del nivel medio superior y además lo están usando en su trabajo docente. Así mismo, tengo a mi cargo el taller de Construcción de Telescopios para apoyar el proyecto PAPIME, se están construyendo 20 telescopios que serán ubicados en los 9 planteles de la ENP y 3 planteles del CCH. Por otro lado la Jefatura del Departamento de Física a cargo de Alicia Allier Ondarza tiene la tarea de elaborar un manual de prácticas para apoyar la materia de Astronomía, donde el Colegio de Física consideró incluir en dicho manual los materiales que he dado a conocer.

Como consecuencia del plan actividades, nos dimos cuenta que hacia falta material, éste ahora está en proceso de elaboración y uno de los objetivos de esta tesis es cubrir parte del material teórico y experimental del curso. Este trabajo se aboca a la enseñanza - aprendizaje de la Astronomía en el nivel medio superior y, en particular, el interés del mismo tiene que ver con la unidad 3. Se propone una opción metodológica para enseñar el tema de las estrellas. Se mostrarán las técnicas de ubicación en el cielo, la observación con telescopio pequeño y se describirán las propiedades físicas de las estrellas y sus etapas de evolución. Uno de los propósitos es que el alumno comprenda que las estrellas tienen diferentes características, por lo que se pueden clasificar, además de que cumplen un ciclo de vida: nacen, evolucionan y mueren.

Este trabajo esta dirigido a la unidad 3, sin embargo consideramos que es un manual para el curso de Astronomía Básica de nivel de bachillerato, por lo que el material se puede usar en las unidades 1, 2 y 3, por la relación que hay con sus temas, también un poco para las unidades 4 y 5. Por lo que ha sido dividido en cinco capítulos:

En el capítulo I se da una introducción de las estrellas con una breve exposición del desarrollo histórico, y se explica cómo reconocer algunas constelaciones, en el capítulo II se hace una descripción de las características de las estrellas, incluyendo tamaño, masa, color, temperatura y brillo. En el capítulo III se estudia el principio de la evolución estelar.

es decir, el nacimiento de una estrella y se toma como ejemplo al Sol. En el capítulo IV se analiza la muerte de las estrellas, esto es, sus etapas finales de evolución. En el capítulo V se muestran las actividades didácticas y desarrollos fenomenológicos que ayudan a comprender la vida de las estrellas. La parte más innovadora de este trabajo consiste en la muestra de actividades didácticas. Finalmente se presentan las conclusiones y una bibliografía.

Además, los profesores que queremos impartir la materia no contamos con un libro de texto, sin olvidar mencionar que los libros de Astronomía existentes se encuentran en inglés, otros no cumplen con el nivel deseado y por último los que están en español, son muy costosos. Hace falta un libro de texto, y este trabajo puede ser el inicio para desarrollar unas notas para los alumnos.

Estos materiales se han probado frente a grupo en el curso de Astronomía; en el plantel 4 "Vidal Castañeda y Nájera" por Juan José Espinosa Rivera y Javier Padilla Robles, en el plantel 5 "José Vasconcelos" por Emilio Jesús Flores Llamas y yo en el plantel 6 "Antonio Caso".

La Astronomía es una materia rica en experimentos que permiten el mayor entendimiento de la teoría, por eso se proponen algunas actividades didácticas teórico-experimentales, para que la clase pueda llevarse a cabo como un taller de Astronomía, donde los alumnos construyan sus materiales didácticos. Si hay talleres y los jóvenes construyen, aprenden más y mejor. Usar las manos es parte del desarrollo psicomotriz de las personas y les permitirá desarrollarse mejor como individuos plenos.



En una hermosa noche estrellada...

P: Timón

T: ¿Qué?

P: Nunca te has preguntado que son esos puntitos brillantes de arriba.

T: Pumba, no me lo pregunto, lo sé.

P: Y... ¿qué son?

T: Son luciérnagas, luciérnagas que se quedaron pegadas en esa cosa negra-azul de arriba.

P: Así... siempre pensé que eran bolas de gas quemándose a millones de kilómetros de aquí.

T: Pumba, contigo todo es gas.

CAPÍTULO 1

Una mirada al cielo

En una noche despejada, sin luna, vemos miles de puntos luminosos: casi todos son estrellas, salvo algunos, que son planetas del sistema solar. Hay diferencias fáciles de observar entre los planetas y las verdaderas estrellas: las estrellas titilan, los planetas no (excepto cuando la atmósfera terrestre está muy revuelta); los planetas suelen ser muy brillantes y están sobre la eclíptica—trayectoria aparente del Sol alrededor de la esfera celeste—, cambian de posición respecto de las estrellas, es decir, si se mira el firmamento en noches sucesivas, se aprecia un movimiento bastante notable de los planetas respecto de la aparente inmovilidad de las estrellas. La diferencia entre los planetas y las estrellas es que estas son esferas de gas incandescente que producen su propia energía, por medio de reacciones termonucleares, emitida en forma de luz y demás radiación; en cambio, los planetas son visibles sólo porque reflejan la luz del Sol.

El Sol es nuestra estrella más cercana (Fig.1.1), está a una distancia media de la Tierra de 150 millones de kilómetros. La siguiente estrella más cercana es Próxima Centauri, se ubica a algo más de 40 billones de kilómetros de distancia (4.3 años luz). Por lo tanto cualquier estrella que se ve en la noche está muy pero muy lejos de nuestro sistema planetario

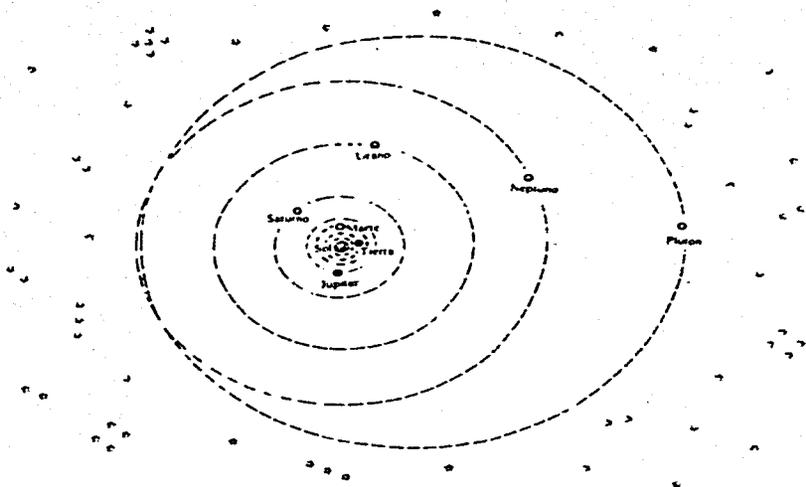


Fig. 1.1 Las estrellas, a excepción del Sol, no forman parte de nuestro sistema solar. En este dibujo el sistema solar está visto de frente y no está a escala

En el presente capítulo mostraremos algunos aspectos históricos de cómo se fue desarrollando la astronomía hasta nuestra época actual. No pretende ser un estudio exhaustivo. Sin embargo, se verán las culturas antiguas y se facilitará su ubicación en los mapas, después analizaremos la relación entre la astrología y la astronomía. Más tarde trataremos la localización de las estrellas en el cielo y las constelaciones de la bóveda celeste. Finalmente, veremos un sistema de coordenadas celestes para facilitar la localización de los astros.

1.1 Bosquejo histórico

Allá entre los tiempos remotos, cuando no había ningún vislumbre de civilización, alguna persona habrá admirado y gozado seguramente, como nosotros, del espectáculo del curso aparente del Sol sobre la esfera celeste: su salida y puesta, la aparición y desaparición de las estrellas, así como su centelleo, y la blancura de la Vía Láctea en las noches sin Luna, así como las fases periódicas de nuestro satélite que culminan en la vivida claridad de la Luna llena.

Además de la contemplación de los hechos naturales frente a las maravillas de la creación, el sucederse de los días y las noches, las lunaciones y las estaciones habrán llevado al individuo, por las necesidades mismas de su vida, a hacer un recuento, si bien rudimentario, del tiempo, propio para gobernar sus sencillas actividades agrícolas, venatorias o pastoriles. Los habitantes de la época paleolítica que seguramente intentaron determinar la duración de las estaciones, el periodo de las lunaciones y trazaron las formas de las constelaciones y el movimiento de los planetas entre las estrellas, fueron los que dieron los primeros pasos en la ciencia que más tarde se iba a denominar astronomía.

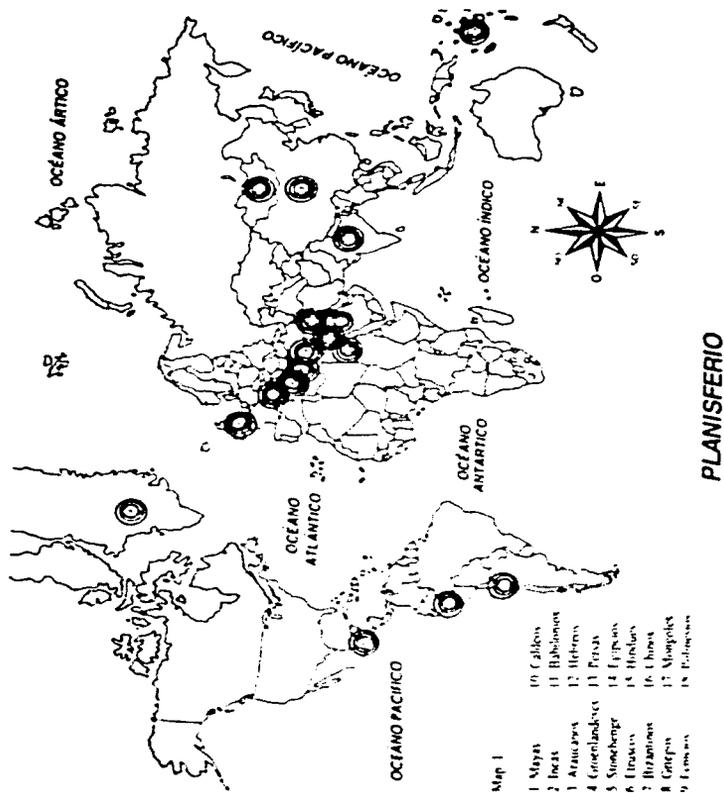
Por la imposibilidad en unos casos, y por la dificultad en otros, de las comunicaciones, en los tiempos prehistóricos se formaron centros de cultura en las diversas regiones de la Tierra; esta cultura, si bien primitiva, estaba adaptada y desarrollada de acuerdo con las condiciones de los diferentes pueblos, sus tradiciones y costumbres; de acuerdo también, con el clima propio de cada región. No tiene sentido, por tanto, hablar de un origen o invención de la astronomía, y aún menos localizarlo en tal o cual lugar.

Más que ninguna otra, esta ciencia que se ocupa de los objetos y los sucesos que acaecen en el cielo ha estado siempre estrechamente vinculada – en las concepciones de todos los pueblos – con la religión religiosa, de tal manera que, en la Antigüedad, ciertos acontecimientos sobrenaturales de la una o la otra se confundían y, lo que es más, se confirmaban mutuamente o servían como base de predicciones a veces fundadas en la

observación o en el cálculo, pero fruto, en otras ocasiones, de consideraciones empíricas o falsas. Fue así como, entre los pueblos primitivos, y aún hasta el final de la Edad Media, se confundió la ciencia astronómica pura con la complejidad mágica, a la que se ha dado el nombre de astrología. Confusión peligrosa, porque sólo las mentes más claras podían discernir entre lo que se entiende verdaderamente con el nombre de ciencia y lo que, en cambio, no es sino una pseudociencia. Sin embargo, el adelanto que la astronomía debe a la investigación de lo sobrenatural o al deseo de predecir el futuro, así como el impulso que le dieron los sacerdotes que se ocupaban y servían de ella para sus prácticas religiosas, fue muy útil para su progreso general. Andando el tiempo, la fe y la ciencia encontraron su camino sin cruzarse la una con la otra, pero es un hecho fundamental que la astronomía sigue siendo la ciencia más cercana a la religión, pues aun cuando la astronomía haya relegado a la Tierra de dominadora a algo insignificante y pequeña del Universo, todavía nos enseña que el cosmos en que vivimos es un conjunto grandioso y que reina en él con una armonía de espacio, tiempo y movimiento. De este modo, la mente humana, a través de estos conocimientos, venera directamente el grandioso misterio de la creación.

Es posible imaginar, a falta de documentos precisos, pero sobre la base de tradiciones y de las necesidades humanas, cuáles fueron los primeros intentos por conocer las leyes del movimiento aparente de los astros, en las diversas regiones de la Tierra. En la mayor parte prevaleció la idea de computar el tiempo mediante el periodo de la revolución lunar en torno a la Tierra, fácilmente determinable por la repetición rápida y regular de las fases. En las latitudes altas, más allá del círculo polar, la permanencia continua del Sol sobre el horizonte y, por tanto, el día perpetuo durante varios meses del año. La visibilidad de la Luna durante las largas noches invernales habrá servido para definir un periodo diurno, por su retorno a los mismos puntos en el horizonte, algo más largo que el determinado por el Sol, influyó en la necesidad de medir la duración del año. Se sabe, por ejemplo, que los groenlandeses (Map. I) contaban los años por los inviernos, habiendo fijado su comienzo a partir de la época en que el Sol desaparecía del horizonte sumiéndose en la larga noche invernal. Además de con los plenilunios, se regulaban también por la posición en el cielo de las estrellas de la Osa Mayor; la variable posición de las sombras, proyectadas por los

accidentes del terreno a la salida del Sol, o la longitud máxima de aquellas, cuando veían al astro rey girar en torno al polo, e inclusive ciertos acontecimientos terrestres regulados por el Sol, como las migraciones de los animales, habrán dado a estos pueblos, y les dan aún, la manera de establecer una división del tiempo.



Map 1 Diversas culturas en el mundo que tuvieron que ver con la astronomía

TESIS COM
FALLA DE ORIGEN

También en América, en las épocas primitivas, las lunaciones servían de base para la división del tiempo. Los peruanos (Map. 1) y los araucanos (Fig.1.2) usaban un mes convencional de treinta días, parecido al de los antiguos egipcios (Fig.1.3), probablemente deducido del movimiento de la Luna. En Mesoamérica (Fig.1.4) habían avanzado más rápidamente que los otros pueblos de América en los conocimientos astronómicos.

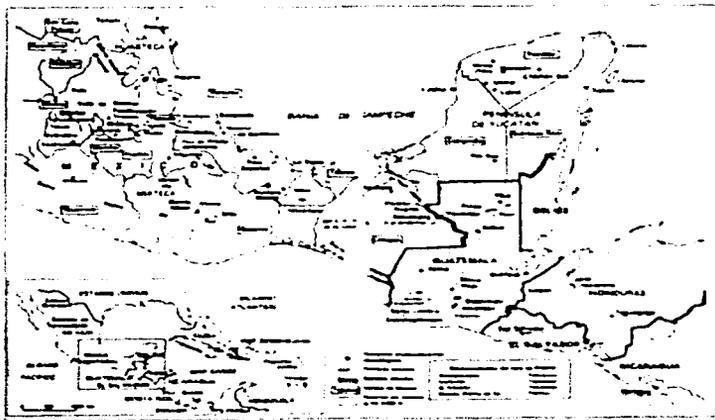


INSTITUCION
 PALLA DE ORGEN

Fig. 1.3 Egipto (3000 - 1150 A.C.)

En los albores de la astronomía, en diversas regiones de la Tierra y en distintas épocas, los pueblos primitivos adoptaron espontáneamente el cómputo del tiempo por los días y meses

lunares, definidos por el intervalo entre dos novilunios o plenilunios consecutivos. El tiempo podía así fijarse con un margen de error de uno o dos días, hasta que nació la necesidad de establecer un calendario que coordinara el curso del Sol con el de la Luna. Sin embargo, para esto era necesaria una forma de civilización más avanzada, que tuviera, ante todo, un conocimiento más o menos preciso del número de días del año solar. Para alcanzar ese conocimiento es necesario observar los fenómenos celestes que dependen del movimiento aparente del Sol entre las estrellas, o bien determinar su posición en el cielo con un indicador de sombras, o sea, un gnomon, instrumento que, en su forma más simple, consiste en una varita vertical colocada sobre un plano horizontal. La longitud de la sombra que produce la varita sirve de base para calcular la altura aparente del Sol. El gnomon puede consistir también en una placa con un agujero por el cual pasan los rayos solares que se recogen sobre un plano horizontal. Otro método sencillo usado por los pueblos primitivos para establecer el curso de las estaciones y definir un calendario práctico bastante exacto, es aquel que consiste en observar la posición de las estrellas en el cielo un poco antes de la salida y un poco después de la puesta del Sol, es decir, lo que se llama respectivamente su nacimiento heliaco y su ocaso heliaco.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 1.4. Mesopotamia (2300 a.C. - 1519 d.C.)

Así se obtuvieron, para todo el curso del año, una serie de puntos de referencia que servían para regular la vida y los trabajos. Este método fue adoptado sobre todo por los egipcios y los arios de la India (Map. 1): Hesíodo lo menciona como cosa de uso general entre los agricultores y navegantes griegos (Fig.1.5). Sirio, la estrella más brillante del hemisferio boreal, era observada especialmente para este fin, por tratarse de la primera que aparece y desaparece en el alba y el ocaso. El día se dividía con base en parte del arco diurno recorrida por el Sol, es decir, fijando los puntos de salida y puesta con referencia a alguna característica del horizonte o bien mediante alguna medición rudimentaria, con lo cual, y con un poco de práctica, se conseguía una precisión comprendida entre los quince y los treinta minutos, resultando después fácil y cómodo fraccionar el día en cuatro o seis partes. También el problema de la orientación (para ir de un lugar a otro y encontrar, más tarde, el camino de regreso) debe haber interesado a los pueblos primitivos y más especialmente a aquellos que por sus necesidades vitales o situación tenían que navegar. Los puntos cardinales se pudieron determinar fácilmente por el movimiento aparente del Sol y de las estrellas, y la dirección de oriente era, a menudo, considerada como fundamental porque por oriente sale el astro que da luz y vida a la Tierra, así, esta dirección adquirió un carácter ritual y sagrado en los diversos pueblos. Entre los pueblos itálicos, especialmente los etruscos (Fig.1.6), los templos estaban orientados precisamente según la dirección este-oeste. El levante se consideraba como la parte anterior del mundo, el poniente como la posterior, el mediodía como la parte derecha y el septentrión como la izquierda. La inmovilidad casi total de las constelaciones cercanas al polo -Cefeo, el Dragón, la Osa Mayor, por ejemplo- y el movimiento de las circumpolares dieron a los pueblos primitivos una forma fácil de orientación; por ejemplo, los fenicios (Fig.1.7) se servían de la Osa Menor, en esa época muy cercana al polo, para determinar de una manera satisfactoria la dirección norte en sus navegaciones. Para viajes largos, en que se perdía de vista la Tierra, se necesitaba de algún otro elemento y así, por ejemplo, los isleños de la Polinesia (Map 1) tuvieron que estudiar con más cuidado la posición de las estrellas y el curso del Sol. En vista de la afinidad de lenguas y de costumbres, se debe suponer que todas las islas esparcidas en aquella gran extensión oceánica estuvieron en comunicación mediante

la astronomía egipcia y a la de la India, treinta siglos antes de Cristo, y finalmente, a la de los babilonios (Fig.1.8) y hebreos (Fig.1.9) hasta Alejandro. Existen también huellas de una astronomía china (Map.1) primitiva y de una posterior, derivada de la astronomía griega, que se inicia en el tiempo de Homero y de Hesíodo. La escuela griega que dio a la astronomía una verdadera importancia científica se desarrolló con los físicos-astrónomos de Jonia, como Tales, Anaximandro y más tarde Pitágoras, Platón y Aristóteles. En su época de mayor esplendor, la escuela de Alejandría contaba con Aristarco de Samos y Eratóstenes, a quien siguió Arquímedes en la Magna Grecia. Con la fundación de Alejandría surge en el siglo tercero antes de Cristo un gran centro científico en el que Hiparco, el astrónomo más grande de la antigüedad, hizo notables progresos en su ciencia. Los trabajos de Hiparco fueron transmitidos y completados, tres siglos después, por Ptolomeo. Con él y con la desaparición de la escuela de Alejandría, hacia el año 650 de nuestra Era, se puede cerrar el periodo de la astronomía antigua.



Fig 1.8 Babilonia (539 - 510 a C)

La astronomía medieval, que comprende la época que va del año 500 al 1500 después de Cristo, es la época, en verdad poco importante, de los romanos, y la mucho más importante

de los árabes, con las escuelas de Bagdad y El Cairo, y la de los persas (Fig.1.10) y mongoles (Map. 1). Pero la astronomía de estos pueblos, como también la de los pueblos latinos de occidente, hasta Copérnico, no es en sustancia más que una repetición del Almagesto de Ptolomeo. En el renacimiento, Purbach y Regiomontano no hacen sino comentar y explicar ese famoso libro.

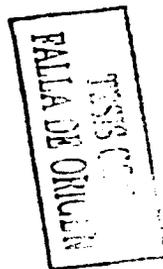
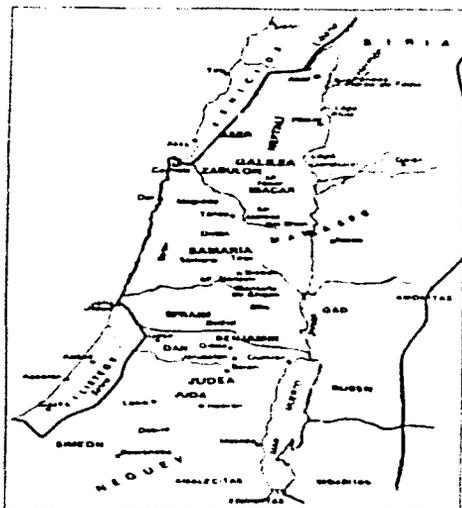


Fig. 19 Los Hebreos (1200 - 586 a C)

El mismo Copérnico se puede considerar como el continuador de la escuela griega, ya que desarrolló la idea fundamental de Aristarco aplicándole los métodos geométricos de Ptolomeo y de Hiparco; con él, Tycho Brahe, Kepler y Newton empieza verdaderamente una nueva era que se puede considerar como la de la reforma de la astronomía, que, por obra de estos grandes genios, se encaminó por nuevas e inesperadas rutas hacia múltiples e importantes conquistas.

Después de Newton podemos fijar la época moderna en la cual, considerándose ya los astros como elementos sujetos a las mismas leyes físicas y mecánicas que los demás

su mayoría son los mismos de nuestros laboratorios de física. Por otra parte los progresos se deben a las nuevas doctrinas teóricas basadas especialmente en los progresos de la física atómica y nuclear. Así como ésta es útil a la astrofísica, esta rama de la astronomía sirve al desarrollo de la física nuclear, porque en los laboratorios celestes se producen fenómenos en escalas tan grandes y que involucran tal cantidad de tiempo y energía que no es posible reproducirlos sobre la Tierra.

En 1940 Grote Reber inició el camino para desarrollar otra rama de la astronomía que va cobrando cada día mayor importancia. Se trata de la radioastronomía, que se ocupa de la recepción de las radio-ondas emitidas por los astros. Con el descubrimiento de éstas se ha iniciado rápidamente por parte de los astrónomos, en colaboración con los radiotécnicos, una carrera para la construcción de radiotelescopios de diversos tipos, mediante los cuales se captan las radio-ondas de fuentes celestes (algunas de las cuales se pueden individualizar, como en el caso del Sol) de las estrellas jóvenes y de las galaxias; otras son aún de misterioso origen. De este modo no sólo se conocen astros que emiten radiaciones luminosas, sino también cuerpos que probablemente no se pueden ver pero cuya presencia y posición es revelada por los radiotelescopios.

En la época presente se habla mucho de los eventuales progresos futuros de la astronomía, sobre todo tras el primer paso emocionante al espacio que se tomó el 4 de Octubre de 1957. En ese día histórico, un cohete soviético impulsó al Sputnik 1, el primer satélite artificial que se colocó en órbita alrededor de la Tierra.

Desde aquel día, se han puesto en órbita alrededor del mundo muchos satélites artificiales. Algunos astronautas han ido a la Luna y vuelto. Hay gente que ha vivido y trabajado en órbita por largos periodos de tiempo. El hombre da sus primeros pasos más allá del planeta, en el sistema solar. Al mismo tiempo, se ha aprendido más de nuestro planeta, así como las formas de mejorar nuestras vidas.

Al igual que el satélite natural de la Tierra, la Luna, un satélite artificial viaja a una velocidad adecuada para no escapar la gravedad terrestre ni caer a la Tierra. Hay varios tipos de satélites que se usan en comunicaciones, meteorología, navegación y de tipo científico, así como también, laboratorios espaciales. En 1973 los Estados Unidos de Norte América pusieron el Skylab en órbita y en 1986 la Unión Soviética lanza la estación espacial Mir (la palabra rusa mir significa Paz), que recientemente regresó a la Tierra el 23 de Marzo de 2001. La exploración de la alta atmósfera con cohetes ha permitido conocer una región del espectro solar, el ultravioleta, invisible desde la Tierra debido a que es absorbida en los estratos altos de su atmósfera. Con el perfeccionamiento de los medios técnicos es previsible que otros descubrimientos podrán agregarse a éste, aun cuando no se pueda concebir una exploración directa, dada la enorme distancia existente entre los astros y la estructura misma del cuerpo humano.

1.1.1 Astrología

Los habitantes de la época paleolítica, quienes lograron determinar, así sea en forma rudimentaria, la duración del año y de las estaciones, la de los ciclos lunares, y quienes trazaron el movimiento de los planetas sobre la bóveda celeste y agruparon las estrellas en constelaciones, fueron los primeros que sentaron las bases de la ciencia que posteriormente se llamaría astronomía.

Estos antiguos pueblos se percataron también de que el Sol controla las estaciones y nos da luz, calor y vida; que la Luna controla las mareas y parece estar curiosamente relacionada con el ciclo reproductivo humano; así mismo, descubrieron que entre las estrellas algunas no permanecían fijas respecto a las demás, sino que efectuaban, en el transcurso de muchas noches, movimientos en el cielo; estos son los planetas, por los cuales nuestros antepasados nómadas debieron sentir una especial afinidad.

Al darse cuenta de que el Sol y la Luna ejercen tan poderosas influencias sobre el ambiente y sobre sus habitantes vivos fue natural para las culturas primitivas, sumidas en la ignorancia y el miedo, hacer extensivas estas influencias al destino y al comportamiento humano. Las estrellas fijas, permanentes e inmutables, se consideraron ajenas a las vicisitudes humanas, más no así los errantes planetas, a los que también se les atribuyeron poderes decisivos. Así, en sus albores, la astronomía surge estrechamente ligada a la astrología, al punto de ser indistinguibles.

La astronomía se benefició de las cuidadosas observaciones sobre el curso del Sol, la Luna, los planetas visibles a simple vista y las estrellas, que los astrólogos y astrónomos realizaban y registraban regularmente y que le servirían de base para la compilación de tablas de datos que se empleaban para cálculos de calendario, propósitos de navegación y orientación y, muy especialmente, para la elaboración de horóscopos. Los poderosos personajes que aportaban los cuantiosos recursos necesarios para la construcción de los observatorios y del instrumental astronómico no lo hacían, en general, por curiosidad científica, ni por la satisfacción de pasar a la historia como benefactores de la ciencia, sino para poder elaborar horóscopos precisos. El alto grado de desarrollo que la astronomía alcanzó entre los babilonios y los griegos se debió, en gran medida, al estímulo que esta ciencia recibió de la astrología; paralelamente con el Almagesto, el influyente compendio astronómico, Ptolomeo nos legó también el Tetrabiblos, manual astroológico, así como numerosas tablas y métodos para el cálculo de horóscopos, que fueron utilizados principalmente por los bizantinos (Fig. 111). En otras culturas, como en la islámica y en la hindú, las influencias astrológicas predominaron aún más, al grado de opacar a la astronomía propiamente dicha, considerándola incluso, como ciencia auxiliar de la astrología.



Fig. 1.11 El imperio romano de oriente. Los Bizantinos (527 a.C. - 1453 d.C.)

La íntima asociación entre astrología y astronomía se presenta desde sus orígenes mismos. No es coincidencia el hecho de que los registros astronómicos más antiguos que se conocen —textos cuneiformes que contienen las posiciones de los planetas en el zodiaco, elaborados en Babilonia en la segunda mitad del siglo V a.C.— y el horóscopo más antiguo que se ha conservado, procedan del mismo sitio y sean contemporáneos. Esta interacción prevalece no sólo en la antigüedad sino también durante toda la Edad Media e incluso después. Ya en pleno siglo XVII astrónomos tan distinguidos como Tycho Brahe y Kepler (Fig.1.12) elaboraron regularmente horóscopos. Para una mente moderna esto quizás pueda parecer extraño, pero hay que recordar que el mismo Newton, que vivió más tarde y que sin duda fue uno de los mayores genios de todos los tiempos, conservó toda su vida y en especial hacia el fin de esta, cuando era responsable de la Casa de Moneda, un activo y pragmático interés por la alquimia.

*Horoscopium gestellet durch
Ioannem Kepplerum
1608.*

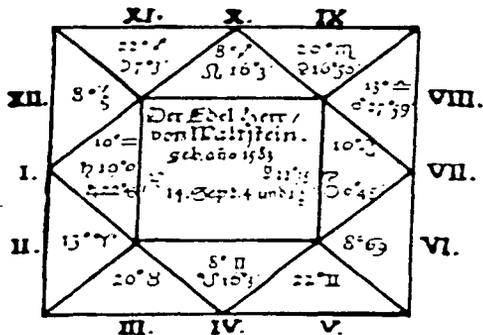


Fig. 112 Horoscopyo elaborado por Kepler

La astrología sostenía que la constelación en la cual se hallan los planetas al nacer una persona influye profundamente en el futuro de ella, a tal grado que se desarrolló la idea de que los movimientos de los planetas determinaban el destino de los reyes, de las dinastías y de los imperios. Los astrólogos estudiaban los movimientos de los planetas y se preguntaban qué había ocurrido la última vez en que, por ejemplo, Venus amanecía en la constelación de Aries; quizás ahora volvería a suceder algo semejante. La astrología era una actividad delicada y arriesgada, ya que en ocasiones estos astrólogos llegaron a ser empleados por las personas en el poder. Elaborar presagios extraoficiales se convertía en un grave delito intensamente perseguido: una buena manera de hundir un régimen era predecir su caída. En China, los astrólogos reales que realizaban predicciones inexactas eran ejecutados. Otros ajustaban simplemente los datos para que estuvieran siempre en perfecta conformidad con los acontecimientos. La astrología se desarrolló como una extraña

combinación de observaciones, de matemáticas y de datos cuidadosamente registrados, acompañados de pensamientos confusos y de mentiras piadosas.

La astrología puede ponerse a prueba aplicándola a la vida de los gemelos o cuates; hay muchos casos en que uno de los gemelos desafortunadamente muere en la infancia, por alguna enfermedad o en un accidente, mientras que el otro vive una próspera vejez. Cada uno nació exactamente en el mismo lugar y con minutos de diferencia el uno del otro. Los mismos planetas exactamente estaban saliendo en el momento de su nacimiento. ¿Cómo podrían dos gemelos tener destinos tan profundamente distintos? Además los astrólogos no pueden ni ponerse de acuerdo entre ellos sobre el significado de un horóscopo dado. Si se llevan a cabo pruebas cuidadosas, son incapaces de predecir el carácter y el futuro de personas de las que no conocen más que el lugar y la fecha de nacimiento. Sin embargo la astrología personal está todavía entre nosotros.

Por lo tanto es evidente que las tan llamadas ciencias ocultas no son ni nunca han sido ciencias, dado que no se fundan ni en el análisis, ni en la síntesis, ni en el razonamiento crítico, aunque, en rigor, hacen uso de una sola parte y desde un solo punto de vista de los métodos de investigación y estudio denominados científicos. El nombre de ciencias ocultas no es injustificado del todo y puede significar los primeros contactos del pensamiento científico con la complejidad mágica. La base de las ciencias ocultas es un complejo heterogéneo de supersticiones, de ideas arraigadas en el inconsciente y de tradiciones mágicas derivadas especialmente de Egipto y Caldea (región baja de Mesopotamia, llamada más tarde Babilonia) (Fig. 1.13). Sobre esta base, dominada por la idea de lo mágico y por todas las características que la acompañan, se erige una nueva estructura, aparentemente científica porque usa los cálculos matemáticos y el experimento, el estudio de las estrellas y la investigación de los elementos químicos.

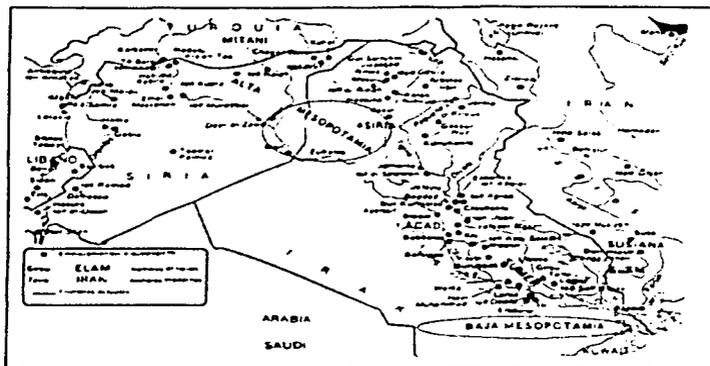


Fig. I.13 Mesopotamia Caldea (siglo VI a C)

Es necesario, antes que nada, tener en cuenta un hecho esencial: las leyes fundamentales de la ciencia positiva, descubiertas a través de la experimentación, las conoció y admitió primero sólo una pequeña minoría. La ardua labor de siglos que precedió la aceptación final de los hechos positivos, fundamentados científicamente, como, por ejemplo, el sistema heliocéntrico, la circulación de la sangre y la localización de las facultades intelectuales en el cerebro; revelan la dificultad de hacer aceptables ciertas verdades, no sólo a las masas.

En la actualidad los tesoros celestes siguen proveyendo de alimento a la mente humana; y las diarias columnas de horoscopos que se publican diariamente en casi todos los periódicos siguen nutriendo a los astrólogos.

Cierto es que su importancia en la antigüedad fue grande, y que sus hondas raíces han quedado plasmadas incluso en nuestro lenguaje: por ejemplo, la palabra "desastre" significa "mala estrella"; "influencia" quería decir "estar con los planetas" como condición previa al pensamiento serio; "aspecto" se refería a la posición de las estrellas en el cielo al momento de nacer de una persona, etc.

La astronomía moderna nos ha enseñado que la conexión que tenemos con las estrellas es mucho más sutil y profunda que la que imaginaban los primitivos adivinos y agoreros e imaginan los modernos astrólogos, según veremos en el capítulo II.

1.1.2 La astronomía de México

No queremos pasar por alto que en México desde la prehistoria a habido, hay y habrá grandes astrónomos, reconocidos en todo el mundo. Por la sangre de los mexicanos fluye la astronomía.

Las cuatro culturas más notables fueron la mixteca, zapoteca, mexica y maya de las cuales al menos la maya desarrolló habilidades para analizar los sucesos astronómicos y para utilizar técnicas matemáticas. En cierto modo, al paso del tiempo todas parecen haber compartido la teoría de un universo de capas, en el que cada capa contenía sólo una clase de cuerpos celestes. Inmediatamente encima de la Tierra estaba la capa de la Luna, después seguía una para las nubes, otra para las estrellas y después la del Sol, Venus, los cometas, etc., hasta llegar a la decimotercera capa, donde residía el dios creador.

A grandes rasgos, se puede decir que los antiguos mexicanos pensaban que la Tierra era una superficie plana, de forma rectangular o circular, rodeada por el mar que se levantaba en sus extremos para alcanzar los cielos.



Fig. 114 Güts de observatorios astronómicos.

De suma importancia fueron también las diferentes maneras de concebir el tiempo. Para simplificar y recordando que se usaron sistemas calendáricos diferentes según los lugares y

TESIS CCC
FALLA DE ORIGEN

las épocas, existieron básicamente dos calendarios: uno solar de 365 días formado por 18 meses de 20 días más 5 días que eran para fiestas especiales y otro ritual de 260 días formado por la combinación de veinte signos de días con trece números. El planeta Venus, pasa casi cada 260 días de estrella de la mañana a estrella de la tarde. Por ser tan importante el planeta Venus en el culto y ritual prehispánico, relaciona el calendario venusino con el calendario ritual.

La importancia en torno al tiempo y los calendarios que tuvo en las sociedades y culturas que económicamente vivían de la agricultura, tuvieron que desarrollar maneras precisas de medir el paso del tiempo, y lo lograron mediante la observación de los cambios en la naturaleza y el movimiento de los cuerpos celestes. La base de estos calendarios se encuentra precisamente en el camino que recorren los astros por el firmamento. Los pueblos Mesoamérica tuvieron profundos conocimientos acerca del movimiento solar, de las fases y ciclos lunares y de planetas como Venus y Marte. Asimismo entendieron la relación numérica entre esos fenómenos y su calendario ritual. Las evidencias iconográficas, epigráficas y matemáticas presentes en sus códices, grabados en piedra, pintura mural y otros medios, resultan obvias. Las orientaciones específicas que tienen varios edificios señalan en el horizonte una serie de importantes fechas de carácter ritual y astronómico, donde se encuentran involucradas las observaciones del Sol, la Luna, Venus, la Vía Láctea, otros planetas y estrellas refuerzan la posesión de tales conocimientos.

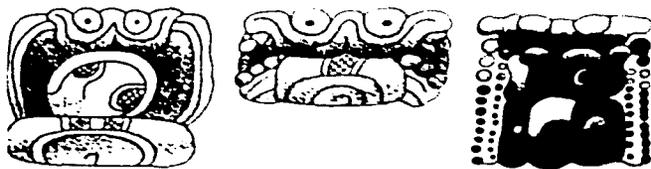


Fig. 115. Glifos de estrella.

La observación del paso cenital solar era una práctica común entre los pueblos de Mesoamérica. Cuando el Sol pasa por el cenit local lo podemos definir como el día en que

el Sol a mediodía, ubicado sobre la cabeza del observado, no proyecta sombra alguna sobre los objetos. Las fechas de ese paso cenital son de carácter local, dependen del lugar de la observación. Es éste un fenómeno que se observa en latitudes intertropicales como Mesoamérica. En Xochicalco, Monte Albán y Teotihuacan se han encontrado vestigios de cámaras para la observación del paso cenital del Sol, que ocurre en dos fechas anuales en estas latitudes.

Dentro de los ciclos calendáricos importantes representados en los códices es el llamado ciclo de Venus, que es el astro más brillante del firmamento, el tercero después de la Luna y el Sol. Se identificaba con la deidad Quetzalcóatl-Kukulcán, conocida por los pueblos nahuas y mayas del posclásico, al que se atribuían una serie de eventos de carácter mítico y legendario que lo hacían una especie de héroe cultural para varias de las tradiciones indígenas. También hay almanaques o tablas de Venus, donde las fechas rituales en que la deidad venusina aparecía como estrella de la mañana o de la tarde y lanzaba sus rayos mortales hiriendo a alguna víctima sacrificial, señalaban el día en que Venus se manifestaba.

Otro de los registros arqueológicos donde se manifiesta el conocimiento calendárico de las antiguas poblaciones de Mesoamérica es en la orientación de las estructuras arquitectónicas de los sitios prehispánicos en todo este territorio. Tal es el caso de la Pirámide del Sol en Teotihuacan, la cual está orientada hacia la puesta del Sol el 29 de abril y el 13 de agosto, días del paso cenital en Izapa. Similar orientación de las estructuras arquitectónicas al ocaso solar en estos días de importancia calendárica se encuentra en el área maya en la ventana frontal en El Caracol; también están el Templo Superior de los Jaguares, en Chichén Itzá, el eje de simetría del edificio de los Cinco Pisos en Edzná y otros edificios importantes del resto de Mesoamérica.



Fig. 116 Observatorio astronómico El Caracol

Otro observatorio solar relacionado con las fechas calendáricas es el de Xochicalco, que es una cueva natural acondicionada para funcionar como cámara oscura y registrar, a través del paso de la luz solar por un orificio tubular en el techo, los días del paso cenital local por este sitio. Lo interesante es que la construcción de dicha cámara cenital permite el paso de la luz solar en un rango de tiempo que abarca cada año desde el 29 de abril hasta el 13 de agosto, no volviéndose a iluminar hasta el año siguiente, por lo que en la construcción de este peculiar observatorio solar volvemos a encontrar involucrado el periodo de 260 días.

Algo similar ocurre en la torre del palacio de Palenque, donde en su lado poniente se encuentra una ventana con la forma del glifo del día calendárico Ik, que significa viento entre los mayas. El azimut de la ventana cercano a los 285° origina que a partir del 29 de abril y hasta el 13 de agosto pasen los rayos solares a través de esta y proyecten la imagen del día Ik sobre una pared oblicua opuesta. La inclinación y tamaño de esta pared de la torre fueron diseñados para que en el solsticio de verano se proyectara el glifo Ik y la abarcara totalmente.

Otra arquitectura importante es el Templo del Sol en Malinalco, sólo que aquí las fechas involucradas no son las del paso cenital de Izapa, sino que son el 12 de febrero y el 29 de octubre, que también dividen al año en la relación mencionada. Por otro lado, las fechas de Malinalco se relacionan con el inicio del año mexica, el año mexica se empezaba a contar a partir del 2 de febrero. Con la reforma gregoriana al calendario romano usado por los conquistadores y realizada a fines del siglo XVI podemos decir que el principio del año mexica corresponde a nuestro 12 de febrero actual y es el que se encuentra en la orientaciones de Malinalco, por lo tanto su templo del Posclásico no sólo marcaba la división del ciclo anual en los importantes periodos calendáricos, sino que también servía para señalar astronómicamente el día en que comenzaba la cuenta del nuevo año solar.

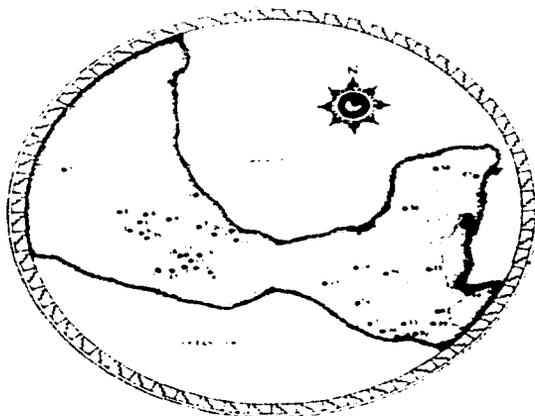


Fig. 1.17 Diversos sitios en Mesoamérica relacionados con los registros del tiempo. 1 Altavista, 2 Tajín, 3 Maltrata, 4 Cacaxtla, 5 Tenochtitlan, 6 Teotihuacan, 7 Malinalco, 8 Teotenango, 9 Nochicalco, 10. Chaleateingo, 11 Yucuñudahui, 12 San José Mogote, 13 Yanhuatlán, 14 Monte Alban, 15 Tilantongo, 16 Huamelulpan, 17 Tlapa, 18 Región nuñe, 19 Región cuicateca, 20 La Mojarra, 21 Tres Zapotes, 22 Tuxtla, 23 Chiapa de Corzo, 24 Palenque, 25 Yaxchilan, 26 Izapa, 27 I1 Sitio, 28 Abaj Takalik, 29 El Baúl, 30 Kaminaljuyú, 31 Quirigua, 32 Copan, 33 I1 Porton, 34 Plaza de Leyden, 35 Tikal, 36 Edzna, 37 Coba, 38 Chichen Itzá

En conclusión se ha constatado en la orientaciones arquitectónicas de varios edificios de esta área que el conocimiento calendárico y las observaciones astronómicas en los pueblos de Mesoamérica se encontraban estrechamente relacionados. Este vínculo también se puede apreciar en la alineación de la Pirámide del Sol en Teotihuacan, en sitios del Posclásico del Altiplano Central y en ciudades mayas como Copan. Aunque sus manifestaciones concretas son diversas, el sistema calendárico mesoamericano es uno en su estructura, función y relación con fechas de importancia solar (equinoccios y solsticios. Las observaciones de otros cuerpos celestes, como la Luna y Venus, y posiblemente Júpiter, Marte y Saturno entre los mayas, se vinculaban necesariamente con las fechas rituales del calendario. De este modo, la medición del tiempo se volvió toda una institución cultural entre los mesoamericanos y formó parte de la cosmovisión y la práctica social, económica y religiosa de los pueblos de estas regiones.

1.2 Ubicación en el cielo

Al ver el cielo, todo cautiva la mirada y despierta la curiosidad por saber, que es lo que brilla en la inmensidad, describir aquellos puntos que resaltan en la oscuridad. Como animados por un movimiento, incansable y lento, por encima de nosotros se suceden alternativamente el disco deslumbrador del Sol, la Luna de formas cambiantes y las miríadas de estrellas, cual puntos centelleantes que van encendiéndose progresivamente al caer el día. Además, esos fenómenos particulares o inusitados: cometas de aspectos extraños, eclipses del astro del día o del de la noche y apariciones repentinas y efímeras de ciertos meteoros luminosos. Tantos espectáculos causan alguna vez una profunda impresión. De esta seducción de la vista, desde las primeras edades de la humanidad pensadora, de esta contemplación, ya admirativa, ya temerosa, nació la astronomía.

Probablemente nos hemos preguntado cómo hacen los astrónomos para ubicar las estrellas en el cielo o cómo saben que los puntitos son estrellas, similares al Sol, que se hallan tan

lejos que no podemos apreciar su forma. Por ejemplo, cuando miramos una fotografía del cielo estrellado, notamos que unas estrellas son más brillantes que otras, aunque desconocemos la razón de ello. Tampoco sabemos si todas las estrellas son iguales y unas se ven más brillantes por estar a menor distancia o si algunas son más luminosas que otras. Al mirarlas no podemos saber cuál es la forma del espacio que rodea a la Tierra y mucho menos, cuánto tiempo viven las estrellas, dónde nacen o cómo se mueven en el espacio.

Bien valdría la pena salir un día al campo cuando sea época de cielos despejados –en México ello sucede en general de Noviembre hasta Abril-, abrigarse bien y mirar el cielo. Es mejor hacerlo tendido cómodamente sobre el piso: la cantidad de estrellas es sorprendente, así como su brillo y coloración. Se puede observar que algunas estrellas forman grupos.

Si tienes la oportunidad de mirar al cielo, podrás observar algunas estrellas y la Luna, incluso cuando haya nubes delgadas. Seguramente notarás que el cielo da la impresión de ser un enorme techo que rodea a la Tierra. Ésta es la sensación que les produjo a las personas de la antigüedad y por eso la llamaron bóveda celeste. Ahora se sabe que en realidad las estrellas se encuentran a distintas distancias, pero la idea de que todas están sobre esa bóveda es útil para poder ubicarlas. En esta bóveda se tienen dibujados imaginariamente mapas celestes que permiten fácilmente su localización.

Es posible contemplar sin ayuda óptica multitud de fenómenos celestes como, por ejemplo, las grandes zonas oscuras de la Luna –resultado del choque de grandes objetos hace casi cuatro billones de años- tan evidentes a simple vista que han dado lugar a leyendas que afirman que, en su superficie, habita un leñador, o que una liebre campa en ella por sus respetos.

Además, a simple vista, se puede seguir la ruta nocturna de cinco planetas, reconocer las ochenta y ocho constelaciones desde un punto u otro de la Tierra, dibujar las formas tradicionales de las estrellas y observar cómo algunas de ellas –sobre todo las variables-

cambian de luminosidad a lo largo de los días, las semanas o los meses. Es fácil distinguir racimos de astros, como las Pléyades en Tauro, y nubes de gas, como la Gran Nebulosa de Orión, y en una noche oscura abarcar la inmensidad de nuestra galaxia, la Vía Láctea, serpenteando por el cielo junto a sus tres vecinas: Andrómeda (M 31), el Triángulo (M 33) y las Nubes de Magallanes.

También se pueden avistar satélites artificiales, lluvias de meteoritos y, desde puntos lejanos del norte o del sur, disfrutar de la fabulosa exhibición pirotécnica de las luces meridionales o septentrionales (la aurora boreal y la aurora austral).

El cielo cambia constantemente. La Luna sale, por término medio, cuarenta minutos más tarde cada noche, por lo que, al igual que su fase es diferente cada vez que asoma, su posición en relación con las estrellas también varía.

Los planetas, por su parte, aunque se mueven mucho más lentos que la Luna, trazan elegantes recorridos entre las estrellas, y es fácil seguir los movimientos de los cinco más cercanos si se observan durante una temporada.

Las estrellas se retrasan unos cuatro minutos cada noche, cifra que aunque no parezca excesiva, si se acumula, supone casi una hora a las dos semanas y un día a lo largo de un año. Incluso son perceptibles modificaciones en el cielo durante una sola noche. En el término de dos horas, estrellas que estaban cerca del horizonte oriental (por el este) guñarán en el cielo más alto, y otras dejarán de verse, una vez culminado su ocaso por el oeste.

Si se elige una estrella muy cercana a la rama de un árbol o de algún cable eléctrico, se notará —con un poco de paciencia y manteniéndose una media hora colocado exactamente en la misma posición— que ese astro se habrá desplazado respecto a la rama o el cable considerado como referencia. Las estrellas, la Luna y el Sol se mueven en el cielo de esa manera.

Las estrellas parecen moverse respecto a la rama porque la Tierra gira. Ello es equivalente al movimiento aparente de las cosas cuando uno da vueltas en un tiovivo. La Tierra no sólo gira en torno a su eje, sino que además se desplaza alrededor del Sol a una velocidad de 30 km/s y hacia el centro del cúmulo de galaxias de Virgo a 3 600 km s. La Tierra se mueve pero no lo sentimos porque nos movemos junto con ella; este movimiento da la sensación de que todo el universo da vueltas alrededor del planeta. No es de sorprenderse que a los humanos les tomara siglos convencerse de que la Tierra se desplaza.

A raíz de la era espacial y de la puesta en órbita de satélites de prospección, los conocimientos sobre nuestro planeta se han modificado. Ahora se pueden hacer mapas de él desde el espacio, incluso tridimensionales, por medio de técnica de radar. También es posible monitorear el movimiento de las placas tectónicas y las variaciones de temperatura de la superficie terrestre y así efectuar mejores predicciones sobre el clima. Éstas son sólo algunas de las ventajas de observar la Tierra desde el espacio.

Mientras para la mayoría de nosotros el crepúsculo marca el final del día, para un aficionado a la astronomía (a menos que el objeto de sus estudios sea el Sol) marca el comienzo de su actividad. Aunque una noche clara invita por sí sola a salir fuera y contemplar el cielo, algunas noches concretas ofrecen sesiones extraordinarias, como un eclipse lunar, cuando la Luna cruza la sombra de la Tierra, o una lluvia de meteoros —que como los anteriores, también son predecibles— dan pie a contemplar el cielo.

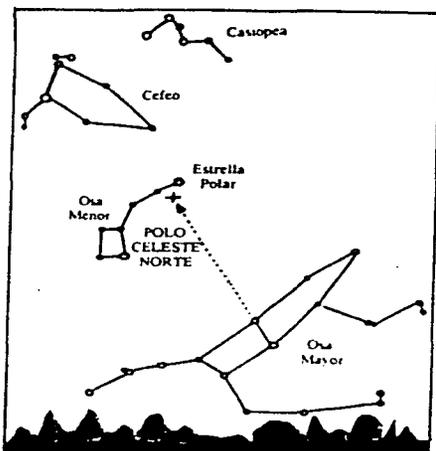
Hay que tener presente que al entrar a una habitación oscura, después de estar en un lugar iluminado, nuestros ojos tardan en acostumbrarse a la penumbra y nos movemos con dificultad. Este proceso de adaptación a la oscuridad, que dura entre quince y veinte minutos, se da por bien empleado si se desea estar óptimamente pertrechado de facultades visuales para una sesión de observación. Durante ese intervalo, las pupilas de los ojos se abren por completo, gradualmente (7 mm los niños y unos 5 mm las persona mayores), para permitir que entre la luz de las estrellas.

Una vez adaptada la vista a la oscuridad, no hay que mirar hacia ningún punto de luz brillante. Si el observatorio es el jardín, deben apagarse las luces, correr las cortinas de las habitaciones para evitar la iluminación interior. Conviene proteger siempre los ojos de una luminosidad deslumbrante, pues a mayor exposición a la luz solar durante el día, mayor será el período de adaptación a la oscuridad

Orientarse en el cielo puede resultar, al principio, desalentador, pero en realidad no es más difícil que leer un mapa de carreteras y es mucho más relajante. Cuando se conduce por una autopista, en cuestión de segundos se tiene que comparar las señales de tráfico con las del mapa so pena de equivocarse de cruce. En comparación, las estrellas no corren; al contrario, parece que deambulan suavemente por el cielo. Y además, mañana por la noche semejarán las mismas.

Pero ¿cómo encontrar el camino a un punto determinado en un cielo tan inmenso y abarrotado de estrellas? Muy fácil, utilizando una estrella como referencia y luego saltando de estrella en estrella, por ejemplo, para los pobladores del hemisferio norte, el cielo presenta una estrella brillante cerca del polo norte celeste, que es un buen punto para iniciarse o para considerarse como referencia, porque casi no se mueve. Se localiza la Osa Mayor (Fig. I.18), después se dibuja mentalmente una línea que una las dos estrellas al final del saco, alargándola cinco veces, se encontrara la estrella Polar. El localizar ésta estrella dará confianza a los iniciadores en explorar el cielo.

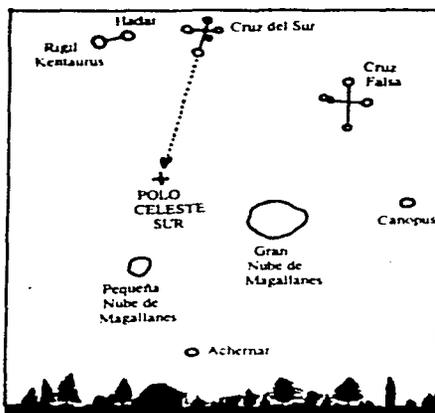
Fig.1.18 Encontrar el norte es fácil para un observador que vive en este hemisferio, porque la estrella Polar es la más brillante y está muy cerca del polo norte celeste



Esto sería fácil, claro está, si la Osa Mayor estuviese en el cielo, es decir, en latitudes medio septentrionales, cada noche del año. Sin embargo, es posible que en otoño y en invierno no se vea a menos que haya un horizonte claro. Desde el norte de México, la Osa está presente bajo el horizonte durante las noches de invierno. Si la Osa está abajo, la W de Casiopea, en la otra cara del polo, estará arriba. Si también, se dibuja mentalmente una línea que una las tres estrellas de la W, alargándola aproximadamente cinco veces, se encontraría la estrella Polar. No marca el camino tan claramente como la anterior, pero dará una idea de la dirección de la estrella polar.

Para el observador del hemisferio sur, encontrar ese punto cardinal no es tan fácil. Pero aunque el polo sur celeste no esté marcado por una estrella brillante, hay diversos modos de encontrarlo. El más fácil es alargar el brazo largo de Cruz (Fig.1.19), la Cruz de Sur, cuatro veces y media para acercarse al polo. Éste está muy cerca, señalado por la estrella Sigma Octantis, que resulta demasiado débil para ser útil.

Fig.1.19 Encontrar el sur es más difícil porque no hay ningún elemento luminoso cerca del polo, pero otras estrellas brillantes nos dan referencia de su posición



Los mapas del buscador de estrellas son guías nocturnas. Es bueno empezar con los mapas celestes y luego utilizar el de una constelación concreta para conseguir su objetivo. Los mapas pueden usarse en cualquier parte del mundo, pero no hay que olvidar que no todas las constelaciones son visibles desde un mismo lugar; por ejemplo, las pertenecientes a la región polar sur siempre estarán bajo el horizonte para un observador en latitudes medio septentrionales.

1.2.1 Constelaciones

Cuando en una noche muy serena se observa el cielo da la impresión que las estrellas están distribuidas en una inmensa bóveda esférica sobre nuestras cabezas. El horizonte limita la esfera celeste haciendo inaccesible a nuestra visión lo que está debajo de él. Los pueblos primitivos imaginaron inicialmente al cielo como una semiesfera, una especie de techo apoyado en el horizonte. Al observar el cielo es fácil agrupar las estrellas más brillantes en configuraciones compuestas por estrellas formando triángulos, cuadrados, cruces, etc. Después de mirar varias horas el cielo se aprecia que mientras algunas configuraciones

desaparecen bajo el horizonte otras nuevas surgen. De ahí se puede concluir que las estrellas están dispuestas sobre una gran esfera de la cual sólo apreciamos una mitad en un instante dado. A estas figuras que forman las estrellas en que se divide el cielo nocturno, cuyo dibujo se impone a la imaginación, se les llama constelaciones.

Sin embargo estas apariencias simples han constituido las primeras bases del conocimiento del cielo y del establecimiento de su inventario. Por lo demás, las constelaciones tienen su utilidad desde el punto de vista práctico; sirven de puntos de referencia para orientarse y localizar en su conjunto el lugar del cielo en donde hay algo que señalar. Refiriéndolo todo a la esfera celeste, se ha establecido en ella un sistema de coordenadas que fija las posiciones de los astros en coordenadas llamadas longitud o en ascensión recta, y en latitud o en declinación. El dibujo de las constelaciones está, recortado por el trazado ficticio y la porción de cielo que ocupa cada una de ellas está definida por las coordenadas de los círculos que la limitan.

También se sabe que las estrellas vistas en sus peculiares agrupaciones forman un escenario prácticamente invariable, y sobre éste se ven proyectados los astros relativamente próximos: la Luna, los planetas y los cometas que arrastrados por sus movimientos parecen meterse entre las estrellas.

Algunas constelaciones son particularmente notables ya sea por su figura o por el brillo de las estrellas que las componen. En total han sido determinadas por la Unión Astronómica Internacional (UAI) 88 constelaciones en toda la extensión de la esfera celeste y se distribuyen de la siguiente forma:

- a) A lo largo de la eclíptica se suceden 12 constelaciones que son las que han dado sus nombres a los signos del zodiaco, que aparecen en la siguiente tabla

Nombre latino	Genitivo	Nombre español
Aquarius (Amphora)	Aquarii	Acuario
Aries	Arietis	Camero
Cancer	Canceri	Cangrejo
Capricornus (Caper)	Capricorni	Capricornio
Gemini	Geminorum	Gemelos
Leo	Leonis	León
Libra	Librae	Balanza
Pisces	Piscium	Peces
Sagittarius (Arcitenens)	Sagittarii	Sagitario o Saetero
Scorpius	Scorpii	Escorpión
Taurus	Tauri	Toro
Virgo	Virginis	Virgen

Fuente Rudaux

- b) Entre la zona eclíptica y el Polo Norte hay 29 constelaciones, que aparecen en la siguiente tabla

Nombre latino	Genitivo	Nombre español
Andromeda	Andromedae	Andromeda
Aquila	Aquilae	Aguila
Auriga	Aurigae	Cochero
Bootes	Bootis	Boyero
Camelopardus	Camelopardi	Jirafa
Canes Venatici	Canum Venaticorum	Perros de caza o Lebreles
Cassiopeia	Cassiopeiae	Casiopea
Cepheus	Cephei	Cefeo
Coma Berenices	Comae Bereniceis	Cabellera de Berenice

Corona Borealis	Coronae Borealis	Corona Boreal
Cygnus	Cygni	Cisne
Delphinus	Delphini	Delfín
Draco	Draconis	Dragón
Equuleus	Equulei	Caballo menor o Caballito
Hercules	Herculis	Hércules
Lacerta	Lacertae	Lagarto
Leo Minor	Leonis Minoris	León Menor
Lynx	Lyncis	Lince
Lyra	Lyrae	Lira
Ophiuchus	Ophiuchi	Ofiuco o serpentario
Pegasus	Pegasi	Pegaso
Perseus	Persei	Perseo
Sagitta	Sagittae	Flecha o Sagita
Scutum	Scuti	Escudo (de Sobieski)
Serpens	Serpentis	Serpiente
Triangulum	Trianguli	Triángulo
Ursa Major	Ursae Majoris	Osa Mayor
Ursa Minor	Ursae Minoris	Osa Menor
Vulpecula	Vulpeculae	Zorro Menor

Fuente: Rudaux

- c) Entre la zona eclíptica y el Polo Sur se encuentran 47 constelaciones, que aparecen en la siguiente tabla

Nombre latino	Genitivo	Nombre español
Antlia	Antliae	Máquina Neumática
Apus	Apodis	Ave del Paraíso
Ara	Arae	Altar
Caelum	Caeli	Buril
Canis Major	Canis Majoris	Can Mayor
Canis Minor	Canis Minoris	Can Menor
Carina	Carinae	Quilla (del Navío Argos)
Centaurus	Centauri	Centauro
Cetus	Ceti	Ballena
Chamaeleon	Chamaeleontis	Camaleón
Circinus	Circini	Compás
Columba	Columbae	Paloma
Corona Australis	Coronae Australis	Corona Austral
Corvus	Corvi	Cuervo
Crater	Crateris	Copa
Crux	Crucis	Cruz (del Sur)
Dorado	Doradus	Dorada
Eridanus	Eridani	(Río) Eridano
Fornax	Fornacis	Horno (químico)
Grus	Gruis	Grulla
Horologium	Horologii	Reloj
Hydra	Hydrae	Hydra
Hydrus	Hydri	Hydra macho
Indus	Indi	Indio
Lepus	Leporis	Liebre
Lupus	Lupi	Lobo
Mensa	Mensae	(Montaña de la) Tabla

Microscopium	Microscopii	Microscopio
Monoceros	Monocerotis	Unicornio
Musca	Muscae	Mosca
Norma	Normae	Escuadra
Octans	Octantis	Octante
Orion	Orionis	Orión
Pavo	Pavonis	Pavo
Phoenix	Phoenicis	Fénix
Pictor	Pictoris	(Caballote del) Pintor
Picis Austrinus	Piscis Austrini	Pez Austral
Puppis	Puppis	Popa (del Navío Argos)
Pyxis	Pyxidis	Brújula
Reticulum	Reticuli	Reticulo
Sculptor	Sculptoris	(Taller del) Escultor
Sextans	Sextantis	Sextante
Telescopium	Telescopii	Telescopio
Triangulum Australe	Trianguli Australis	Triángulo Austral
Tucana	Tucanae	Tucán
Vela	Velorum	Velas (del Navío Argos)
Volans	Volantis	Pez Volador

Fuente: Rudaux

Muchas constelaciones tienen nombre y origen antiguo y pertenecen a seres o animales mitológicos o legendarios. Por cierto, que estas representaciones han ejercido una influencia en el dibujo de las cartas o globos celestes, hasta los tiempos modernos.

En cuanto a las estrellas en sí, se designaron directamente sus nombres a las más hermosas como: Sirio, Altair, Vega, Aldebarán, Rigel, etc. Además, cada estrella se puede distinguir definiendo su lugar en la imagen figurada de la constelación de que forma parte. Este sistema de nomenclatura, de una longitud y complicación considerable, ha sido sustituido por la designación que introdujo Bayer en 1603 por medio de las letras del alfabeto griego.

En cada constelación se ha designado con la letra α la estrella más brillante, siguiendo luego, por orden decreciente con β , γ , etc. Debido a la riqueza del cielo esta serie se agotó pronto, pues ciertas constelaciones son muy vastas. Entonces, después de las letras griegas, Bayer utilizó las del alfabeto latino. Flamsteed, en 1725, adoptó números que aplicó a las estrellas de cada constelación a partir del Oeste.

Sin embargo, esto sólo se refiere, en principio, a la visión ordinaria. La necesidad de la ciencia astronómica exige un inventario más detallado.



Fig. 120. La información que se puede obtener de un mapa de constelaciones. Así como hay mapas celestes, también se tienen mapas de las constelaciones (Fig. 120). Éstos contienen las estrellas hasta magnitud 6.5 (en el siguiente capítulo se hablara con más detalle de la magnitud de una estrella); las que caen fuera de la constelación son hasta de magnitud 5.5. Por consiguiente, todas las estrellas señaladas se pueden ver a simple vista bajo un cielo oscuro, pero en pueblos o ciudades posiblemente se necesitaran binoculares para distinguir las más débiles. Además de las estrellas localizables a simple vista, los

mapas señalan las posiciones de otros elementos importantes, como cúmulos de estrellas, nebulosas y galaxias; la mayoría de ellos requieren ayudas ópticas para poder ser vistos. Se incluyen objetos de interés especial hasta magnitud 11. Cada mapa va acompañado de descripciones de los principales objetos de interés para el aficionado, con una recomendación del instrumento necesario para verlos, binoculares o telescopio en la mayoría de los casos, con aperturas de lente frontal de 60 mm. Evidentemente, si los objetos se observan con un telescopio más grande se descubrirán más detalles (Fig.1.21).

Las características de los mapas de constelaciones son:

1. Una guía de correcta pronunciación y el nombre común de la constelación.
2. El genitivo del nombre de la constelación, utilizado para denominar correctamente los objetos en la misma.
3. La abreviatura estándar de tres letras del nombre latino de la constelación.
4. La mejor época de observación, que es la fecha aproximada en que la constelación está en el meridiano (es decir, más alta en el cielo) a las 10 p.m. de la noche, hora estándar.
5. Un nivel de visibilidad, basado en una escala de 1 a 4, que representa la facilidad con que puede verse la constelación.
6. El dibujo de una mano, que indica el número de manos extendidas (de unos 20° de ancho cada una) que cubrirán la constelación de este a oeste.
7. Una referencia al mapa celeste concreto donde la constelación esta representada.
8. El dibujo de una o más estrellas, como un símbolo que indica que hay estrellas de las que se consideran las más brillantes (de las 25 estrellas más brillantes) y pertenecen a la constelación.
9. Unos dibujos que indican si un objeto puede verse fácilmente a simple vista, con binoculares o con un telescopio pequeño.

Se recomienda observar el cielo una vez cada mes durante los meses en que esta despejado, por lo menos, para que personalmente se percate de cómo va cambiando el aspecto de la bóveda celeste al ser observada mes tras mes a la misma hora, que es equivalente al que presenta la esfera celeste al observarse una noche dada a intervalos de dos horas.

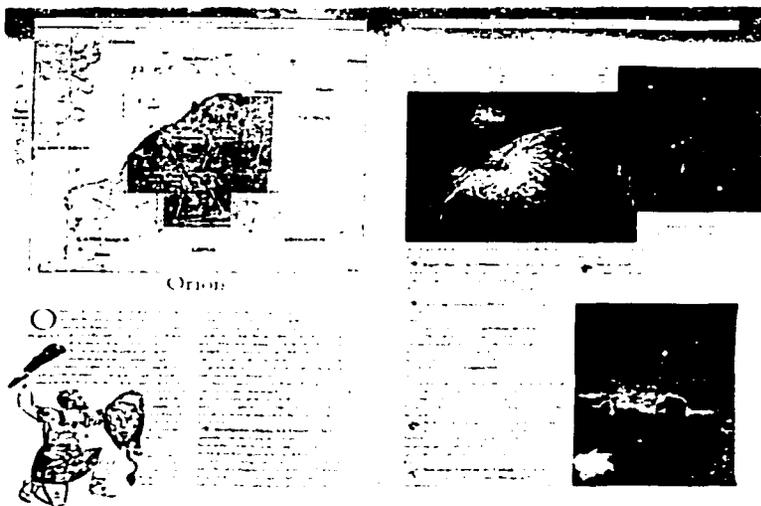


Fig 1.21 La constelación de Orion, en un mapa de constelaciones

En el capítulo V, se proponen dos actividades para identificar a cada una de las estrellas que forman la constelación, así como, la separación entre las estrellas.

1.2.2 Las coordenadas celestes

Para precisar los movimientos aparentes de los astros y fijar sus posiciones en la esfera celeste, hay que tomar puntos de referencia fundamentales para establecer, a base de los mismos, un sistema de coordenadas.

Para comprender la manera en que los astrónomos ubican a los astros, conviene recordar primero cómo se desarrolla un sistema cuadrículado de líneas imaginarias que cruzan la Tierra, llamados meridianos y paralelos.

La posición de un lugar en la Tierra está definida por su longitud y latitud. La latitud –corresponde a los paralelos- se mide a partir del Ecuador. Al Ecuador se le asigna por convención la latitud cero. Las latitudes situadas al norte del mismo tienen valores positivos entre 0° y 90° , y las situadas al sur, valores negativos entre 0° y -90° . La longitud –corresponde a los meridianos- se mide en torno de la Tierra, mientras que para medir la latitud existe un origen natural, el Ecuador; se ha escogido un origen arbitrario para el meridiano cero. La longitud se mide a partir del círculo máximo que pasa por ambos polos y por Greenwich, Inglaterra, por consiguiente, se ha dividido a la Tierra en 24 meridianos.

Existen diversos sistemas de coordenadas astronómicas: horizontales, eclípticas, ecuatoriales y galácticas. Sin embargo, sólo consideraremos dos de ellos por fines prácticos:

A) Sistema de coordenadas horizontales

También se conoce como sistema de coordenadas altazimutales (Fig. 1.22). Las posiciones están referidas al horizonte. El punto de la esfera celeste que está situado directamente sobre el observador es el cenit, y el punto opuesto, debajo del mismo, el nadir. El círculo máximo que pasa por el norte, el sur y el cenit, se llama meridiano. El círculo máximo que pasa por el este, el oeste y el cenit a 90° con respecto al meridiano, es el primer vertical. La posición de un objeto celeste queda determinada por su altura medida en grados desde el horizonte en dirección al cenit (las alturas negativas se refieren a puntos situados debajo del horizonte) y por el acimut, que los astrónomos miden en grados, a lo largo del horizonte, hacia el oeste y a partir del punto cardinal sur. En este sistema, la altura del polo celeste sobre el horizonte es igual a la latitud del lugar de observación. El sistema de coordenadas horizontales presenta la gran desventaja de que la posición de un cuerpo celeste varía con la hora y el lugar desde el cual se efectúa la observación y, por consiguiente, juntamente con la posición del mismo debe indicarse la hora. Este sistema no resulta, entonces, práctico para expresar posiciones que deben ser utilizadas por observadores situados en otros lugares.

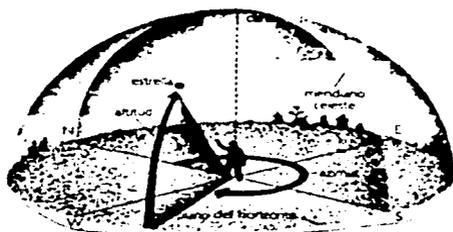


Fig 1.22 Este sistema es práctico y claro para explicar la posición de un objeto celeste en un momento determinado

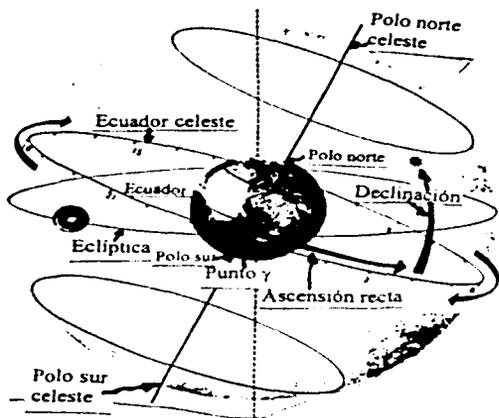
B) Sistema de coordenadas ecuatoriales

Si imaginamos que la Tierra es una bola capaz (como un globo) de inflarse hasta llenar la hipotética esfera celeste, y transferimos los puntos y líneas más importantes de su superficie al mapa de esta esfera, se establece una correspondencia entre los ecuadores de ambas figuras y de los polos celestes con los polos de rotación norte y sur de la Tierra; las líneas de longitud y latitud se convertirían en coordenadas celestes, conocidas como ascensión recta y declinación respectivamente (Fig 1.23).

En otras palabras, el mismo procedimiento que se hizo en la Tierra se aplica a la esfera celeste, en la que el ecuador, los círculos de latitud y los polos corresponden a los del globo terrestre, de los cuales son, en cierto modo, la prolongación en el espacio. Sin embargo, para determinar el meridiano correspondiente al de Greenwich, no se ha escogido un astro a manera de una capital en la Tierra, sino el punto que corresponde en el cielo a la intersección de los planos del ecuador y de la eclíptica cuando el Sol viaja de sur a norte. Este punto se representa como γ (aunque allí no hay ninguna estrella), y es conocido como punto vernal o punto Aries. Un sistema tal de coordenadas se ajusta, en su disposición, al corrimiento aparente que experimenta la esfera celeste a causa de la rotación de la Tierra: las estrellas son arrastradas por este movimiento a lo largo de los paralelos sobre los que se

encuentran, y los círculos máximos que determinan la posición de cada estrella sobre dicho paralelo alrededor del cielo pasan por el meridiano de un lugar una vez en cada rotación de la Tierra.

Fig. 1.23 La esfera celeste y sus sistemas de coordenadas ecuatorales imitan la superficie de la Tierra



La declinación (δ) de un astro, lo mismo que la latitud geográfica de una ciudad, se expresa en grados y fracciones de grado de circunferencia. Se considera igualmente positiva (+) a partir del ecuador hacia el Polo Norte, o negativa (-) hacia el polo sur. Sin embargo, en ciertos cálculos astronómicos no se tiene en cuenta la declinación contada desde el ecuador, sino la distancia al Polo que se llama Distancia Polar y es el complemento de la declinación.

La ascensión recta (α), lo mismo que la longitud geográfica, divide al ecuador celeste en 24 partes que se llaman horas, contadas a partir del punto γ , y se miden hacia el este, tomando este punto como origen. El círculo inicial de ascensión recta está numerado con la hora 0; el que le seguirá corresponderá a la 1, el otro a las 2 y así sucesivamente, para terminar en las 23; una posición intermedia entre dos de ellos se expresa por un número de minutos y segundos, es decir, son unidades de tiempo.

Como las 24 horas siderales corresponden a los 360° de la circunferencia, entonces, cada hora corresponde a 15° de arco; cada minuto de tiempo vale 15 minutos de arco y cada segundo de tiempo, 15 segundos de arco. Esto es para poder ubicar con mayor precisión una estrella.

En el capítulo V, haremos una descripción del astrolabio, de su aplicación en la localización de los astros y de la forma de construirlo.

Conclusión

En este capítulo se ha visto a la astronomía desde un marco histórico, mencionando la ubicación geográfica de las grandes civilizaciones que de una u otra manera aportaron sus conocimientos; dando como resultado la ubicación de los objetos que se pueden ver en el cielo y también, los conflictos que surgen y aún hay, entre la astronomía y la astrología, al grado que hoy día muchas personas las confunden.

Se habla de la astronomía de México, en particular de la Mesoamericana para hacer énfasis de que nuestro país tiene astrónomos de prestigio internacional.

CAPÍTULO II.

Propiedades físicas de las estrellas

Las propiedades físicas de las estrellas difieren en muchos aspectos, incluyendo tamaño, masa, color, temperatura y brillo. Parecerá imposible que se puedan estudiar tantas estrellas diferentes. A pesar de su gran variedad, hay ciertas leyes que las rigen a todas. Se conocen las características sobre las muchas estrellas que no pueden estudiar de cerca, estudiando a los astros y las leyes que los gobiernan de los que sí pueden observar en detalle. Por ejemplo, bastaría observar con mucha paciencia el cielo, para darnos cuenta a simple vista, que hay estrellas azuladas, blancas, amarillas, rojizas. Se puede apreciar que sus brillos son marcadamente distintos y predominan ampliamente aquellas que son más tenues. Observando frecuentemente el cielo, también se puede apreciar sus posiciones relativas, con algunas extraordinarias excepciones, parecen no cambiar, al menos durante el breve intervalo de tiempo en el que transcurre nuestra vida. Aunque todas las estrellas aparentan estar equidistantes sobre la bóveda celeste, en realidad la distancia que hay de la Tierra a cada una de las estrellas no es la misma.

En este capítulo mostraremos como medir la distancia a las estrellas por el método de paralaje, después hablaremos del brillo de las estrellas, partiendo de la clasificación que hizo Hiparco, hasta definir magnitud aparente y absoluta, así como la expresión matemática que relaciona a ambas magnitudes, mostrando una tabla de las estrellas más brillantes. Más tarde se compararán los tamaños de las estrellas, considerando como referencia el Sol, una forma de medir los diámetros estelares es usando las leyes de la radiación, por sistemas eclipsantes o por interferometría, haciendo énfasis en el primer caso. También se presenta el análisis espectral, partiendo de un marco histórico hasta llegar a las clasificaciones espectrales de los últimos años, esto nos permite conocer la composición química y la temperatura de una estrella, llegando a obtener una clasificación del color con la temperatura superficial de la estrella. Se mostrará la relación de la magnitud absoluta con la

temperatura, a través del diagrama Hertzsprung-Russell (H-R), considerado como el diagrama clave para comprender la evolución de las estrellas hoy en día. Finalmente trataremos las reacciones termonucleares que se llevan a cabo en el interior de las estrellas; como el ciclo del carbono y las reacciones protón-protón; que son las que producen la mayor parte de la energía que liberan las estrellas.

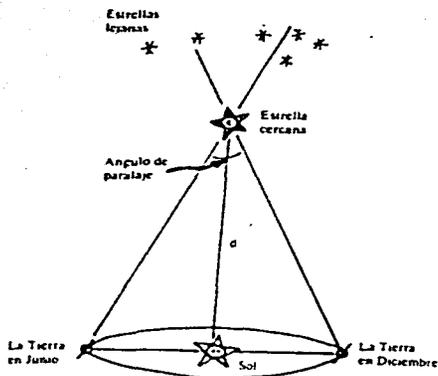
II.1 Distancia a las estrellas

Si no podemos ir a las estrellas, ni tenemos cintas métricas que las alcance, ¿cómo determinar su distancia desde la Tierra? La verdad es que es un problema complicado y la solución a veces incluye conjeturas.

Un método para medir la distancia de las estrellas se llama paralaje. Paralaje es el cambio aparente en la posición de una estrella en el firmamento. Este cambio aparente no se debe al movimiento de la estrella, sino al cambio en la posición de la Tierra al moverse alrededor del Sol. Así que la estrella se está prácticamente quieta desde nuestro punto de vista y es la Tierra la que se mueve. En realidad todas las estrellas se mueven, pero están tan alejadas que sus posiciones no parecen cambiar sobre todo si las vemos a simple vista.

En la figura II.1, se puede ver como se usa la paralaje para determinar la distancia de una estrella. Primero se fija su posición aparente en junio y después en diciembre, por ejemplo. Luego se traza una línea entre la posición de la Tierra en estos meses y el centro del Sol. Esta recta será la base de un triángulo. Se conoce la medida de esta base porque ya se ha tomado cuidadosamente.

Fig. II.1 Método de paralaje



Un sencillo experimento, que ilustra lo anterior, se puede realizar de la siguiente manera: colocando un libro enfrente de los ojos a la máxima distancia que permita el brazo y ubicando el dedo pulgar de la otra mano a la mitad de esta distancia. Si ahora miramos fijamente al dedo cerrando alternativamente uno de los dos ojos observaremos que el dedo brinca de un lado al otro con respecto al fondo visual. Este es precisamente el efecto de la paralaje. Los objetos que tienen una paralaje pequeña se encuentran muy lejos, mientras que los que muestran una paralaje grande están relativamente cercanos.

Paralaje es una manera segura de medir la distancia de estrellas próximas a la Tierra. Para distancias mayores de 100 años luz, sin embargo, este método no sirve, porque los ángulos en el triángulo paralaje son demasiado pequeños para medirlos con precisión.

En el capítulo V, haremos una descripción del paralajómetro, de su aplicación para medir paralaje y de la forma de construirlo.

Cuando las estrellas están demasiado alejadas para medir sus paralajes sin demasiado error se pueden calcular sus distancias observando el tipo de estrella que son, esto es conociendo su espectro (sección II.4). Supongamos que todas las estrellas fueran focos de 60 watts

encendidos. Se podría calcular la distancia a ellas dependiendo de qué tan brillantes se vieran, las más débiles estarían más lejos. Ahora bien, no todos los focos son iguales, existen foquitos de árbol de navidad y faros de locomotora. El foquito de navidad puede verse tan brillante como el faro de locomotora si está mucho más cerca. Sin embargo, si se pudiera observar el wattaje de un foco al mismo tiempo que su brillo se podría conocer su distancia. De manera equivalente midiendo el brillo y tomando el espectro de las estrellas, conociendo la cantidad y la calidad de la luz que nos envían, se puede conocer sus distancias.

Para calcular la distancia a cuerpos irregulares, donde no todos son como focos estándares, es necesario utilizar otros sistemas. Uno de ellos consiste en suponer que la distribución de polvo que está entre las estrellas es igual en todas direcciones: El polvo impide ver a los objetos alejados. El polvo absorbe más la luz azul que la roja; por eso en el atardecer la Luna se ve amarillenta y el Sol rojizo, porque el polvo suspendido en la atmósfera absorbe su radiación azul y verde. Así midiendo que tanta luz azul les falta a estos astros; se puede estimar su distancia. Los errores de este método son importantes ya que el polvo no está distribuido de manera homogénea en el medio interestelar.

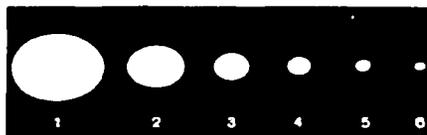
II.2 El brillo de las estrellas

La observación más elemental hacia el cielo pone en evidencia la desigualdad de brillo de las estrellas; entre las que brillan vivamente y las que lo hacen con mucho menor intensidad, y sólo parecen pequeñas luces en el límite de la visibilidad.

El registro más antiguo que se conoce fue recopilado por el astrónomo griego Hiparco, aproximadamente en el año 130 a. C., y que incluye todas las estrellas visibles desde Alejandría; posteriormente este registro fue editado por Ptolomeo, en el año 150 d. C.; conocido con el nombre de "Almagesto", este famoso catálogo incluye 1022 estrellas.

Hiparco enumeró las estrellas visibles en cada constelación e indicó su posición con respecto a las figuras mitológicas de las mismas y su brillo mediante una escala de seis magnitudes, en la que 1 designa a la estrella más brillante y así sucesivamente hasta asignar a las más débiles la magnitud de 6 (Fig.II.2). Este sistema rudimentario para la indicación del brillo aparente, subsistió transformándose en el sistema actual, en el que se mantiene la designación de "primera magnitud", "sexta magnitud", etc.

Fig.II.2 El tamaño de los círculos son proporcionales a los brillos de las estrellas apreciables a simple vista, desde la 1ª. a la 6ª. magnitud.



Las estimaciones que antes se hacían por la simple apreciación visual, se han cambiado por las que resultan de medidas fotométricas precisas. En 1827, John Herschel encontró que el cociente entre la intensidad o flujo de una estrella con magnitud 1 y la intensidad de una estrella con magnitud 6 era 100 a 1. En 1856, Norman Podgson, cuantificó esta relación asignando a una estrella de 1ª magnitud una luminosidad cien veces mayor que de la más débil visible sin telescopio. Así de una magnitud a la siguiente, la relación entre los dos brillos correspondientes es de 2.512 veces con respecto a la que le sigue. En otras palabras, una estrella de 2ª magnitud es 2.512 veces menos brillante que una de 1ª magnitud; una de 3ª magnitud, 2.512 veces menos brillante que una de 2ª magnitud, y así sucesivamente. Entonces se puede decir, que una estrella de 1ª magnitud es de cien veces más brillante que una de 6ª magnitud. A lo largo de toda la escala, una diferencia de cinco magnitudes equivale a una relación de uno a cien en el brillo, lo que quiere decir que la escala de magnitudes no es lineal sino logarítmico.

La clasificación se aplica del mismo modo para estrellas más débiles, reveladas solamente por la visión telescópica y que se llaman de 7^a m., de 8^a m., etc. La magnitud aumenta de acuerdo con el poder instrumental, limitado actualmente a las 28^a m., para el caso del telescopio espacial Hubble. Pero, superior en esto al ojo humano, la fotografía, gracias a su poder acumulativo, va todavía más lejos y alcanza la 23^a m. Estas últimas estrellas son tan poco luminosas que su brillo es 625 millones de veces menor que el de las estrellas de 1^a m.

La clasificación de Hiparco es muy imperfecta; cuando las mediciones alcanzaron mayor precisión, fue necesario introducir subdivisiones que permitieran, por ejemplo, expresar una magnitud de 4.2, etc. Ciertas estrellas superaban definitivamente en brillo a las de primera magnitud y fue necesario recurrir a la magnitud cero y a los valores negativos.

Se emplea la misma notación para precisar el brillo de los planetas, que se ven brillar en el cielo como estrellas, aunque superando, con frecuencia, a las más brillantes. Así el objeto más brillante del cielo, el Sol, tiene una magnitud de -26.72 ; la Luna, -12.55 ; Sirio, la estrella más brillante, -1.52 . En las épocas de brillo máximo, Venus alcanza -4.4 ; Marte y Júpiter, -3 , y Saturno, 0.5 . Por el contrario, Urano está en el límite apreciable a simple vista y no pasa de la magnitud 5.7 , mientras que Neptuno brilla, a lo más, como una estrella débil telescópica de 8^a magnitud; en cuanto a Plutón, es un astro ínfimo de 15^a magnitud, que sólo puede columbrarse fotográficamente, o visualmente con un poderoso instrumento (Fig.II.3).

Fig.11.3 Escala de magnitudes
aparentes



El brillo de una estrella depende de su tamaño, su temperatura y su distancia de la Tierra. Al mirar el firmamento, algunas estrellas parecen brillar más que otras. La estrella aparentemente más brillante, quizás no lo sea en realidad. Por eso se le llama al brillo de una estrella tal como se ve desde la Tierra: brillo o magnitud aparente.

Si se pudieran tomar dos estrellas y ponerlas a la misma distancia de la Tierra, sería fácil saber cuál es en verdad la más brillante. Sin embargo, no se pueden mover las estrellas, pero si calcular su brillo verdadero. La cantidad de luz que realmente emite una estrella se llama magnitud absoluta.

El brillo aparente de cualquier objeto luminoso, ya sea un foco o una estrella disminuye al alejarse de nosotros. En un medio transparente que no absorbe luz, el brillo aparente se atenúa conforme al cuadrado de la distancia, por ejemplo 4 veces al doblar la distancia, 9 veces al triple de la distancia, etc. A una distancia de 25 km, en un medio totalmente transparente, un foco de 60 watts tiene el mismo brillo aparente que Alfa Centauro. Sin embargo esta estrella está un billón de veces más lejos y por lo tanto tiene una luminosidad intrínseca incomparablemente mayor (un billón al cuadrado de veces mayor)

En otras circunstancias un cuerpo caliente brilla con mayor intensidad que uno frío. La temperatura superficial de Betelgeuse es aproximadamente la mitad de la del Sol, por lo que se podría esperar que fuera intrínsecamente menos luminosa. Pero no es así, Betelgeuse es 100 000 veces más luminosa que el Sol. Evidentemente la luminosidad intrínseca de las estrellas no solo depende de su temperatura atmosférica. Imaginemos que la superficie de la estrella está integrada por una infinidad de plaquitas, todas a la misma temperatura y del mismo tamaño y por tanto radiando la misma cantidad de energía. Entre más plaquitas haya sobre la superficie de la estrella, más radiación emergerá de ella. El número de plaquitas que podemos acomodar depende del tamaño de la estrella y por lo tanto su luminosidad intrínseca depende de su radio. En consecuencia, Betelgeuse es mucho más luminosa que el Sol por tener un tamaño considerablemente mayor, a pesar de que su superficie es más fría.

El brillo es constante en la mayoría de las estrellas, aunque algunas tienen brillo constante y variable. Una clase de estrella variable, además de su brillo, cambia de tamaño en ciclos regulares. A esta clase se les llaman estrellas variables pulsantes. Por ejemplo, la estrella polar cambia de brillante a opaco y viceversa, en un ciclo de cuatro días.

Entonces para poder determinar el brillo o la magnitud absoluta de las estrellas que se encuentran a diferentes distancias, de manera que el brillo observado no indica mucho sobre su luminosidad real. Se puede comparar el brillo real de las estrellas simplemente ubicándolas imaginariamente a igual distancia y determinar así su brillo verdadero. La distancia escogida arbitrariamente para este propósito es de 10 pc (32.6 años luz). Con esta consideración se puede obtener una expresión que nos permita conocer la magnitud absoluta a partir de la magnitud aparente de una estrella.

Sea m la magnitud aparente, M la magnitud absoluta a una distancia r . La intensidad o flujo que emana de una estrella, está relacionado con un ángulo sólido ω , y a una distancia r , el área que describe este cono es ωr^2 , recordando que la densidad de flujo es inversamente proporcional a la distancia al cuadrado, se tiene que la relación que hay entre las densidades de flujo $F(r)$ a una distancia r , y la densidad de flujo $F(10)$ a una distancia de

10 pársec, es

$$\frac{F(r)}{F(10)} = \left(\frac{10 \text{ pc}}{r} \right)^2.$$

La diferencia de magnitudes entre r y 10 pc es:

$$m - M = -2.5 \log \left(\frac{F(r)}{F(10)} \right) = -2.5 \log \left(\frac{10 \text{ pc}}{r} \right)^2,$$

o bien

$$m - M = 5 \log \left(\frac{r}{10 \text{ pc}} \right).$$

Finalmente

$$M = m + 5 - 5 \log r,$$

donde r se debe expresar en pársec.

Por ejemplo en el caso de Sirio los valores correspondientes son:

$m = -1.52$; $r = 2.66$ pc. entonces el $\log r = 0.4249$, por lo tanto $M = 1.36$.

Las estrellas brillantes visibles a simple vista comprenden: Supergigantes, Gigantes y estrellas de la secuencia principal. Sus compañeras incluyen a miembros de dicha secuencia y a enanas blancas, en la siguiente tabla se tienen las estrellas más brillantes.

Nombre Común	Nombre de la constelación	Magnitud Aparente
Sirius	α Can Mayor	-1.46
Canopus	α Quilla	-0.72
Alpha centauro	α Centauro	-0.01
Arcturus	α Boyero	-0.04
Vega	α Lira	0.03
Capella	α Cochero	0.08
Rigel	β Orión	0.12
Procyon	α Can Menor	0.80
Achemar	α Eridano	0.46
Hadar	β Centauro	0.66
Betelgeuse	α Orión	0.70
Altair	α Aguila	0.77
Aldebaran	α Tauro	0.85
Acrux	α Cruz del Sur	0.87
Antares	α Scorpio	0.92
Spica	α Virgo	1.00
Pollux	β Geminis	1.14
Fomalhaut	α Pez Austral	1.16
Deneb	α Cisne	1.25
Beta Crucis	β Cruz del Sur	1.28
Regulus	α Leo	1.35
Adhara	ϵ Can Mayor	1.50
Castor	α Geminis	1.59
Shaula	λ Escorpio	1.62
Bellatrix	γ Orión	1.64

11.3 Tamaño de las estrellas

En general las estrellas están tan lejos que parecen puntos diminutos de luz aun a través de los mejores telescopios. Pero las aparientas a veces engañan. Las estrellas varían enormemente en tamaño. El tamaño de una estrella depende tanto de su masa como de la etapa de su evolución. El radio puede variar desde unos pocos kilómetros hasta unas mil veces el del Sol; su valor mínimo corresponde a estrellas en la última etapa de la evolución y, el máximo, a estrellas rojas muy poco densas, cuya superficie se ha dilatado extraordinariamente. Se han dividido en cinco grupos según el tamaño: supergigantes, gigantes, medianas, enanas blancas y de neutrones.

El Sol tiene un diámetro de 1.390.000 km, unas 109 veces mayor que el de la Tierra. Aunque parezca enorme, el Sol es una estrella de tamaño mediano. Tales estrellas componen la mayoría de las estrellas que vemos. Varían en tamaño entre un decimo y 10 veces mayor que el tamaño del Sol. Muchas son muy brillantes. Así Sirio tiene un diámetro el doble del Sol y es el astro más brillante del firmamento.

Las estrellas con diámetro entre 10 y 100 veces mayores que el Sol se llaman estrellas gigantes. Pero aun estas gigantes parecen minúsculas al lado de las mas grandes. Las estrellas supergigantes. Estas tienen un diámetro hasta 1.000 veces mayor que el Sol. Para tener una idea de su tamaño, imaginemos que la supergigante roja Antares desplazara al Sol Reduoria la Tierra a cenizas. De hecho, se extenderia mas alla del planeta Marte. Pero la supergigante papa caro por su enorme tamaño. Muere antes que cualquier otra estrella del universo.

Algunas estrellas son mas grandes que el Sol y las enanas blancas son mas pequeñas que la Tierra. Sin embargo, las estrellas mas pequeñas son las estrellas de neutrones. Típicamente tienen un diámetro de unos 10 km, quizas menos de lo que recorres diariamente entre tu casa y la escuela (Fig. 11-4).

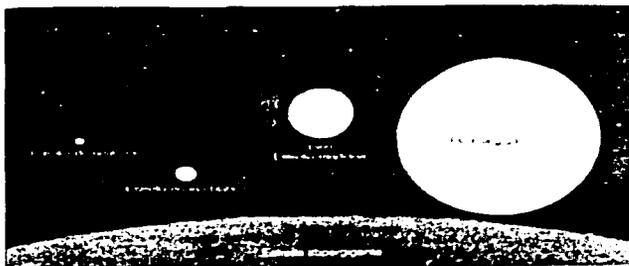


Fig. II 4 1 1 tamaño de las estrellas

Los radios estelares no pueden medirse a partir del tamaño de las imágenes, tal como las vemos desde la Tierra, ya se mencionaba que prácticamente todas las estrellas aparecen como puntos, incluso observadas con los instrumentos más potentes. El Sol es la única estrella lo suficientemente próxima como para que sus dimensiones se puedan medir de manera directa. Ninguna otra presenta un disco visible. Sin embargo, es posible determinar las dimensiones reales de un gran número de estrellas

Existen diversos métodos para la determinación de las dimensiones estelares, basados en la aplicación de las leyes de la radiación, en la observación de las estrellas eclipsantes o en la medición con el interferómetro.

Las dimensiones de las estrellas deducidas de las leyes de la radiación, se pueden obtener usando la ley de Stefan-Boltzmann, considerando que una estrella se comporta como un cuerpo negro, es decir, que su radiación es integral, o que absorberían integra todas las radiaciones. Corresponde casi exactamente a la definición de cuerpo negro el caso de un recipiente cerrado de paredes térmicamente impermeables. Se ha convenido en llamar temperatura efectiva de una estrella la que tendría un cuerpo negro capaz de absorber todas las radiaciones, si colocado a la distancia a que está una estrella, nos radiara exactamente, en la unidad de tiempo, la cantidad de calor que recibimos de la misma. En estas condiciones puede aplicarse la ley de Stefan, que dice que la radiación integral de un

cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. En realidad, teniendo en cuenta que las estrellas están rodeadas de atmósferas de absorción selectiva, no serán rigurosamente cuerpos negros desde el punto de vista térmico, sino cuerpos grises; aún con esta consideración, el error cometido será pequeño.

La luminosidad de una estrella se puede obtener, si se conoce la temperatura efectiva T , que este a su vez se obtiene por su color o su espectro. La energía emitida por unidad de área de una estrella, según la ley de Stefan-Boltzmann, si multiplicamos por la superficie total, se obtiene la energía total que emite la estrella, esto es su luminosidad. Para una esfera de radio R , la luminosidad de la estrella esta dada por

$$L = 4 \pi R^2 \cdot \sigma T^4,$$

donde σ es la constante de Boltzmann, con esta ecuación se puede conocer las dimensiones (el radio) de una estrella.

El resultado de las medidas de los diámetros estelares confirma que la mayoría de las estrellas tienen aproximadamente el tamaño del Sol (sus diámetros tienen más o menos de un millón de kilómetros).

De las estrellas débiles, se puede suponer, que son generalmente las más pequeñas pero son las estrellas más luminosas. Hay sin embargo, sus excepciones. Algunas estrellas tienen diámetros tan pequeños como la Tierra, mientras que otras tienen enormes diámetros, que dentro del sistema solar llegarían tan lejos como a Júpiter (Fig. II.5).

Fig.11.5 El tamaño de las estrellas comparado con las órbitas del sistema solar



Como una aplicación de las leyes de la radiación, para calcular los diámetros estelares, consideremos primero una estrella de color rojo (sección 11.5), su temperatura es de alrededor de 3 000°, aproximadamente la mitad de la temperatura del Sol. Por cada metro cuadrado de la estrella, sólo 1/16 parte de la luz que emite el Sol (porque la luz emitida es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura). Supongamos que la estrella es 400 veces más luminosa que el Sol, entonces debe ser mucho más grande que el Sol para emitir más luz, sin embargo, su brillantez es mucho menor. Podemos encontrar su radio, en términos del radio solar, recordando que L es proporcional a $R^2 T^4$, así se tiene (las constantes de proporcionalidad se cancelan en la relación)

$$\frac{R_e}{R_s} = \left(\frac{L_e}{L_s} \right)^{1/2} \left(\frac{T_s}{T_e} \right)^2 = (400)^{1/2} (4) = 80,$$

donde R_e y R_s se refiere al radio de la estrella y al del Sol, respectivamente. Esta estrella tiene un radio de 80 veces el radio del Sol; si el Sol fuera reemplazado, la superficie de la estrella pasaría de la órbita de Mercurio.

Ahora, considerando una estrella de color azul con una temperatura de 12 000°, el doble de la temperatura del Sol. Supongamos, que esta estrella tienen una luminosidad sólo de 1/100 del Sol. Encontrando el radio de la estrella

$$\frac{R}{R_s} = \left(\frac{L}{L_s}\right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{T_s}{T}\right)^2 = \left(\frac{1}{100}\right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{40}$$

Esta estrella tiene solamente 1/40 del radio solar menos que el triple del radio de la Tierra. Estos dos ejemplos no son casos extremos pero son típicos de estrellas que son llamadas gigantes rojas y enanas blancas respectivamente, estas estrella se discutirán en el capítulo IV.

Las dimensiones estelares deducidas de los sistemas eclipsantes, tiene que ver con las estrellas que son miembros de pares físicos cuyas componentes describen órbitas una entorno de la otra. Las órbitas de algunos de estos pares están orientadas en el espacio de tal modo que, observadas desde la Tierra, las estrellas pasan periódicamente una frente a la otra, disminuyendo la luminosidad de la estrella situada detrás y observándose un descenso en la luminosidad total del par, cuyas componentes se hallan tan próximas que es imposible observarlas separadamente. De la duración del descenso de brillo (o sea del eclipse) se pueden deducir las características del sistema y calcular sus dimensiones en términos de las de su órbita relativa. Si además se conocen las velocidades reales de su movimiento en el espacio, dato proporcionado por el espectro, se pueden calcular las verdaderas proporciones del sistema y, por lo tanto, las dimensiones reales de ambas estrellas.

Medición de los diámetros estelares con el interferómetro, pese a que todas las estrellas (con excepción del Sol) se hallan muy lejanas y no presentan discos visibles, es posible medir sus diámetros aparentes en segundos de arco, de algunas de las mayores y más próximas, mediante la interferencia de las ondas luminosas provenientes de lados opuestos del limbo. La función esencial del instrumento es unir dos rayos de luz procedentes de la estrella, reflejados por dos espejos muy separados entre sí. El refuerzo o anulación de las

ondas luminosas procedentes de ambos bordes de la estrella, según que las crestas o senos de cada una de ellas coincidan o no con las de la otra, determinada una diferencia en la trayectoria de la luz reflejada por ambos espejos, que está relacionada con el diámetro angular de la estrella.

Las mediciones realizadas con el interferómetro proporcionan el diámetro angular del disco de la estrella en segundos de arco. Si se conoce su distancia, se pueden calcular las dimensiones reales.

II.4 Análisis espectral

Si se encontrara una sustancia desconocida, para descubrir su composición química, se podría empezar por observar el objeto desde todos sus lados. Así como palparlo y olerlo para ver si el tacto u olor lo identifica. Probablemente se podría hacer otras pruebas.

Como las estrellas se encuentran muy distantes de nosotros, no se puede tomar una muestra de una de ellas para estudiarla. Sin embargo, se puede determinar su composición química, aún de las más lejanas. Para lograrlo se hace uso del análisis espectral de la luz.

Quizás, el primer espectro que se observó, fue en 1666, el que obtuvo Newton cuando se dio cuenta de que la luz blanca es una mezcla de todos los colores del espectro visible y que al pasar por un prisma descompone la luz, separándola en los colores que la conforman.

La espectroscopia empieza a tomar forma en 1859, con Gustav Kirchhoff trabajando con Robert Bunsen, publicó las leyes del análisis espectral que dicen que un sólido, un líquido o gas, denso y opaco, incandescente, emite un espectro continuo. Un gas enrarecido al ser excitado por calor o una corriente eléctrica emite un espectro discreto de líneas características de cada sustancia química. Por último un gas enrarecido interpuesto entre

una fuente continua y un observador absorberá del espectro continuo radiación de la longitud de onda que emite al ser excitado. Kirchhoff estudiando el espectro del Sol y comparándolo con espectros de sustancias de laboratorio pudo identificar la presencia de sodio, hidrógeno, hierro, calcio, etc., en el espectro del Sol y de varias estrellas brillantes. Así nació el análisis químico de las estrellas.

En 1802 William Wollaston, utilizando un espectroscopio con una rendija angosta descubrió que el espectro solar no es perfectamente continuo, sino que tiene algunas líneas negras, colores precisos para los cuales la intensidad de radiación es menor. Posteriormente en 1814, Joseph Fraunhofer redescubrió las líneas encontradas por Wollaston. Llegando a catalogar unas 500 líneas oscuras en el espectro solar y también, fue el primero que dirigió el espectroscopio a las estrellas y se convenció de que presentaban espectros semejantes al del Sol. John Herschel declaró en 1823, que el estudio del espectro de una estrella podía descubrir la composición química de ella, y durante un siglo pareció que este estudio era el punto central de la nueva ciencia.

Muchos años después, otros astrónomos siguieron trabajando en espectroscopia como William Huggins en Inglaterra y el padre Angelo Secchi del observatorio del Vaticano en Roma, hicieron progresar extraordinariamente esta técnica. En el año 1868, el padre Secchi, dividió los espectros estelares en cuatro clases principales:

Clase I. *Estrellas blancas y azules*. Son las más numerosas, comprenden la mitad de las observadas. Se caracterizan por presentar las rayas del hidrógeno, formando una serie muy típica. Contiene pocas rayas producidas por metales, por ejemplo: Sirio, Vega y Altair.

Clase II. *Estrellas amarillas*. Esta clase es también muy numerosa, comprende casi tantas como la primera. Las rayas espectrales son muy abundantes y finas, como las del espectro solar, generalmente debidas a los metales. Las rayas del hidrógeno, también son evidentes, no aparecen tan marcadas como en la clase anterior, ejemplos: el Sol, Capella y Arturo.

Clase III. *Estrellas rojas y anaranjadas*. Son menos numerosas y muchas de ellas son variables. Las rayas del hidrógeno aparecen menos evidentes, dominando las de origen metálico, especialmente las de calcio. En su espectro aparecen bandas oscuras (zonas de

absorción), con la arista fina dirigida hacia el violeta y el lado difuso hacia el rojo, por ejemplo: Antares y Betelgeuse.

Clase IV. *Estrellas rojas oscuras*. Éstas son poco numerosas y generalmente poco brillantes. Su espectro está constituido principalmente por bandas, con la arista fina dirigida hacia el rojo. Estas bandas son debidas al carbono, por ejemplo, 19 Piscium.

Posteriormente, E. C. Pickering añadió una clase V, en cuyos componentes se mostraba un espectro parecido a los anteriores, pero con algunas rayas brillantes del hidrógeno y del calcio. Estas estrellas son poco numerosas.

En 1867 los astrónomos Ch. Wolf y G. Rayet descubrieron un cierto número de estrellas muy reducido, que presentaba un espectro continuo, apenas sin ninguna raya de absorción, pero con una porción de rayas brillantes o de emisión. Estas estrellas acostumbran a ser muy débiles y generalmente son variables. A estas estrellas se conocen como Wolf-Rayet.

En 1890, Henry Draper, en colaboración con Pickering y Fleming, estableció 15 tipos estelares, de acuerdo con el orden alfabético, de la A a la O, añadiendo después dos tipos adicionales, el P para estrellas centrales de nebulosa planetaria, y la Q para las novae. Cuando se comprendió que el color era una consecuencia de la temperatura fotosférica de cada estrella, se decidió replantearse un nuevo orden, comenzando por los tipos más azules y por lo tanto más calientes, para terminar por los más rojos y más fríos. Así, a principios del siglo XX, Pickering en el Observatorio de Harvard de los Estados Unidos, dirigiendo un equipo en el que colaboraron decisivamente dos mujeres, M. Maury y A. J. Cannon, estableció un orden de temperaturas decrecientes, es decir, del azul al rojo.

P Q O B A F G M (R N)

Los tipos R y N son similares al tipo M, y sus estrellas no son necesariamente más rojas y frías que las de dicho tipo; pero ofrecen espectros de caracteres distintos. Más tarde se prescindió del tipo P (estrella de nebulosa planetaria), y se añadió el tipo W, propio de las estrellas Wolf-Rayet, de características muy peculiares y que pueden emitir en el ultravioleta cercano tanto o más que en el visible. Por el lado contrario, se añadió el tipo S.

propio como el N y R de estrellas muy rojas. En las N, R y S abundan rastros de carbono, uno de los últimos elementos sintetizados por las estrellas gigante, razón por la cual la indicación de los espectros N, R y S avanzados es sustituidas por la C (Carbono). Así, la serie más admitida hoy día es la siguiente:

W O B A F G K M N R S (C)

Las características de cada tipo espectral:

Tipo W. *Estrellas muy azules*. Temperaturas superficiales de 30 000° o más. No presentan rayas ni bandas oscuras. El espectro muestra bandas de emisión (brillantes) correspondientes al hidrógeno o helio ionizado.

Tipo O. *Estrellas azules*. Temperaturas de 20 000° a 25 000°. Sobre un continuo brillante aparecen bandas de absorción (oscuras) de helio neutro, hidrógeno y oxígeno ionizado.

Tipo B. *Estrellas blancoazuladas*. Temperaturas de 15 000° a 20 000°. Predominan las rayas de absorción de helio neutro, pero se aprecian también las de hidrógeno.

Tipo A. *Estrellas blancas*. Temperaturas de 10 000° a 15 000°. En el espectro aparecen fundamentalmente las rayas del hidrógeno y empiezan a ser visibles las de elementos más pesados.

Tipo F. *Estrellas amarillentas*. Temperaturas de 7 000° a 10 000°. Muestran las rayas propias del hidrógeno, pero menos marcado que en las A. En cambio, aparecen las propias del calcio y otros elementos relativamente pesados.

Tipo G. *Estrellas amarillas*. Temperaturas de 5 000° a 6 000°. Muestran rayas correspondientes al calcio, el sodio e incluso metales pesados, como el hierro, aunque este último aparece débilmente.

Tipo K. *Estrellas anaranjadas*. Temperatura de unos 4 000°. Aparecen bandas y rayas de numerosos elementos. El hidrógeno se muestra cada vez más débil.

Tipo M. *Estrellas rojas*. Temperatura de unos 3 000°. Muestran bandas y rayas muy complejas, correspondientes a numerosos elementos, y hasta de cuerpos compuestos, como el óxido de titanio, permitido por la baja temperatura superficial de la estrella.

Tipo N. *Estrellas muy rojas*. Temperaturas de 2 500° a 3 000°. Presenta bandas de óxido de titanio y muestras de carbono.

Tipo R. *Estrellas muy rojas*. Temperaturas de 2 500° a 3 000°. Predominan cuerpos compuestos, principalmente de carbono: monóxido de carbono y cianógeno (CN).

Tipo S. *Estrellas muy rojas, de matices rosados u ocreos*. Temperaturas de 2 500° a 3 000°. Se diferencian de las anteriores en que muestran bandas de óxido de circonio.

En 1943, William W. Morgan, Philip C. Keenan y Edith Kellman del Observatorio Yerkes, proponen una subdivisión por medio de subíndices, por ejemplo, de la A₀ a la A₉. De acuerdo con esta gradación, es posible afinar en el tipo espectral. Así, una estrella A₉ se parece más a una F₀ que a una A₀; o una K₁ no se diferencia gran cosa de una G₈. Por ejemplo, el Sol es de tipo G₂, Rigel de tipo B₁, Sirio o Vega de tipo A₀, la Polar de tipo F₈, Capella de tipo G₅, Betelgeuse y Antares de tipo M₁. No se conocen estrellas más azules que las O₃, ni más rojas que las N₇.

Por último, se determinó la necesidad de establecer un segundo parámetro de clasificación dentro de cada tipo. Por ello se introdujo la división en clases:

Clase Ia. Estrellas supergigantes

Clase Ib. Estrellas supergigantes menos brillantes

Clase II. Estrellas gigantes

Clase III. Estrellas gigantes

Clase IV. Subgigantes

Clase V. Estrellas de la secuencia principal (Estrellas enanas)

Así como la clasificación por tipos corresponde, en líneas generales, a una ordenación por temperaturas, el reparto en clases refleja una clasificación por presiones. Por lo tanto, el Sol, es una estrella del tipo G:(V), por ejemplo.

La espectroscopia es la interacción de la radiación y de la materia. En un experimento de espectroscopia; o sea, de interacción de la radiación con materia se concluye algo sobre la radiación, o se concluye algo sobre la materia; por lo que de esta vasta área de la Física ha surgido una larga y aparente interminable serie de sus leyes, de sus principios y de sus conocimientos fundamentales. Algunos experimentos se realizaron en laboratorios

sencillos, y los resultados revolucionaron profundamente a la ciencia y al mundo. Por ejemplo, los 10 experimentos de espectroscopia más importantes son

Dispersión de la luz solar	Newton
Interferencia por dos ranuras	Young
Análisis de la radiación térmica	Wien, Jeans, Planck
Espectro visible del hidrógeno	Balmer, Bohr
Estructura fina de la línea $H\alpha$	Sommerfeld, Dirac
Espectro de los metales alcalinos	Uhlenbeck, Goudsmit
Espectro del He	Pauli
Corrimiento al rojo de $H\alpha$	Hubble
Desdoblamiento 2s, 2p en H	Lamb
Radiación cósmica de fondo	Penzias, Wilson

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Para aclarar un poco en que consiste la espectroscopia, supongamos que la luz de una llama amarilla se pasa por un espectroscopio, no importa cuantas veces, siempre aparecen dos rayas finas en su espectro. Estas dos rayas finas están exactamente en el mismo lugar del espectro (Fig.11.6). De hecho, ningún otro elemento producirá estas dos rayas tal como el sodio. De cierta forma, son las huellas digitales del elemento sodio.

Fig.11.6 Espectros de los elementos sodio (arriba), hidrógeno (en medio) y helio (abajo) (se grafica la intensidad de luz contra longitud de onda)



Los demás elementos también producen rayas características cuando se calientan y su luz atraviesa un espectroscopio. Así todos los elementos tienen su huella digital. Con un

espectroscopio, se pueden determinar cuáles son los elementos de una estrella. Esto se logra comparando las rayas del espectro de la estrella con las rayas, o huellas digitales de elementos conocidos.

Al aclararse las leyes que gobiernan la excitación y la ionización de los átomos se llegó a la sorprendente conclusión que casi todas las estrellas se componen de los mismos elementos. Su elemento más común es el hidrógeno, además es el más liviano. Compone de un 60 a un 80 % de la masa total de una estrella. El helio es el segundo elemento más común de una estrella, y es el segundo más liviano. La combinación de hidrógeno y helio forma entre el 96 y el 99 % de la masa de una estrella. El resto de los elementos químicos constituyen entre un 2 y un 4 % de su masa. Pese a que este porcentaje de elemento pesado es poca cosa, la masa del Sol es tan grande que la cantidad de toneladas de elementos pesados que contiene en varios miles de veces mayor que la masa de la Tierra entera. Después del hidrógeno y el helio, los elementos presentes en las estrellas son el carbono, nitrógeno, oxígeno, neón, magnesio, sodio, aluminio, silicio, azufre, potasio, calcio, hierro, etc.

En conclusión la espectroscopia permite conocer a una estrella tan de cerca como se conoce a una amiga, la desnuda por completo: medir su diámetro, sentir su temperatura, hasta la velocidad con la que camina por el espacio, el brillo con el que nos mira y por si fuera poco, de su composición química que es lo que la mantiene viva.

En el capítulo V, haremos dos actividades para identificar la composición química de una sustancia, así como también, la forma de construir un prisma para hacer espectroscopia.

11.5 Temperatura de la superficie de las estrellas

Ahora queda claro que la temperatura de las estrellas, no tiene analogía con la nuestra, es decir, en las personas hay una temperatura promedio que es de 37°C , aproximadamente.

Pero además, es independiente de la altura, del peso, del color de la piel y de la edad de la persona. En las estrellas el color de la piel marca la diferencia. Gracias a la espectroscopia podemos conocer el color de las estrellas y de esta manera su temperatura.

Las primeras observaciones fotométricas para comparar la magnitud de las estrellas fueron visuales, estas magnitudes, se les llaman magnitudes visuales (m_v). Con este procedimiento se tienen diversas imprecisiones, por lo cual tuvo que usarse un método fotográfico. Las placas fotográficas son más sensibles a las longitudes de onda del lado del violeta que a las del rojo, con la técnica de la fotografía, se obtienen las magnitudes fotográficas (m_f). Como consecuencia de ello resulta que si se comparan estrellas de igual magnitud visual, al determinar las magnitudes fotográficamente, las estrellas rojas aparecen de menor magnitud que las azules.

Se define el índice de color como la diferencia que se obtiene al restar la magnitud visual de la magnitud fotográfica ($m_f - m_v$). El índice de color es positivo para las estrellas amarillas y rojas (para el Sol es de +0.53). El índice de color es de 0 para Sirio. Las estrellas muy azules tienen índice de color negativo.

Mediante el estudio de los colores, se puede determinar la temperatura de la superficie de una estrella. La temperatura en la superficie de una estrella es mucho más baja que la del centro, o núcleo. Por ejemplo, en la superficie del Sol la temperatura es de unos 6 000° C, en su núcleo alcanza los 15 000 000° C.

Mediante los colores, se ha determinado que la temperatura de la superficie de las estrellas más calientes alcanza unos 50 000° C. Brillan con una luz blanca azulada. En las estrellas rojas la temperatura sólo alcanza unos 3 000° C. La mayoría de las demás estrellas tienen temperaturas entre estos dos extremos, como se ve en la siguiente tabla. Entre las estrellas brillantes, apreciables a simple vista, unas son, blancas o de un blanco azulado (Sirio y Vega); otras, amarillas (Arturo y Capella), y otras de color anaranjado o rojizas (Aldebarán y Antares). Estas diferencias se aprecian fácilmente y desde luego, se conocen desde hace

mucho tiempo. La misma diversidad se encuentra, como es natural, entre todas las estrellas, aun las de brillo más débil, que sólo se manifiesta a la observación telescópica. No obstante en este dominio el color no resulta evidente hasta que la luminosidad es lo bastante intensa para impresionar la retina. En cambio la fotografía registra siempre correctamente tales desigualdades, que pueden entonces medirse con precisión mediante los índices de color.

Color	Temperatura media de la superficie (° C)	Ejemplos
Azul o blanco azulado	35 000	Zeta Eridano Spica Algol
Blanco	10 000	Sirio Vega
Amarillo	6 000	Proción Sol Alfa Centauro A
Rojo anaranjado	5 000	Alfa Centauro B
Rojo	3 000	Próxima Centauro Estrella de Barnard

El color de una fuente luminosa depende de su temperatura, por ejemplo, un pedazo de hierro sometido a un intenso calentamiento: al principio de un rojo oscuro, va haciéndose cada vez más claro hasta llegar a anaranjado, después a amarillo y por último, a un blanco deslumbrante, para volver de nuevo al rojo y seguir una marcha inversa al enfriarse.

También pueden citarse aparatos de iluminación: el filamento de carbón de las primeras lámparas eléctricas, que se calentaba tan sólo hasta 2 000° C., proporcionaba una luz amarilla anaranjada en comparación con la del filamento de tungsteno de las lámparas de 0.5 V, que se calientan hasta 2 900° C, pero respecto a ellas el arco eléctrico con sus 3 900° C parece de un blanco más perfecto y deslumbrante

Por otra parte la luz calificada de blanca es una mezcla de radiaciones cuyas longitudes de onda no son todas iguales y de las cuales, las mayores (de las perceptibles por el ojo) nos producen la sensación de rojo y las mas cortas la de violeta.

La temperatura, al mismo tiempo que regula las proporciones de las diversas radiaciones en la luz de estos astros determina el flujo luminoso de los mismos. Por ejemplo, con igual extensión una estrella cuya superficie se halla a $3\ 000^{\circ}\text{C}$ parecerá 15 veces menos luminosa que otra de $5\ 000^{\circ}\text{C}$, y conforme a lo antes dicho también aparecerá de otro color.

Actualmente se sabe que desde los $1\ 500^{\circ}\text{C}$ hasta $2\ 000^{\circ}\text{C}$, aproximadamente, una estrella comienza a brillar lo suficiente para resultar observable, en este momento el color rojo domina considerablemente sobre la mezcla de radiaciones emitidas por ella. A una temperatura superior hay rojo e incluso mas que en el caso precedente, pero este color quedará disimulado por el amarillo que es mas abundante todavia; a una temperatura más elevada será el azul el que predominará. Sin embargo, como la intensa luz de las estrellas además de las radiaciones preponderantes en cada caso, posee todas las restantes, en vez de coloraciones se observa una coloración generalmente blanca, alterada solo por matices que determinan un viraje, según el caso, ya hacia el amarillo o rojizo, ya hacia el azulado.

Así se ha podido determinar que las temperaturas superficiales de las estrellas rojas oscilan entre los $2\ 000^{\circ}\text{C}$ y $3\ 000^{\circ}\text{C}$; las de las estrellas anaranjadas entre los $3\ 000^{\circ}\text{C}$ y $5\ 000^{\circ}\text{C}$; la de las amarillas entre los $5\ 000^{\circ}\text{C}$ y $8\ 000^{\circ}\text{C}$ (el Sol está a $6\ 000^{\circ}\text{C}$) Las estrellas blancas tienen temperaturas de $8\ 000^{\circ}\text{C}$ a $12\ 000^{\circ}\text{C}$ y las azuladas rebasan este valor que puede elevarse hasta los $20\ 000^{\circ}\text{C}$ o $30\ 000^{\circ}\text{C}$ e incluso más, por lo tanto, se puede concluir que la temperatura de una estrella se obtiene apreciando simplemente su coloración.

En el capítulo V, haremos una actividad para determinar la temperatura de un objeto, simplemente observando el color de la superficie.

II.6 Diagrama Hertzsprung-Russell

A principio del siglo XX, dos astrónomos, el danés Ejnar Hertzsprung y el americano Henry Norris Russell, descubrieron independientemente una relación entre la magnitud absoluta de las estrellas y su temperatura. Encontraron que al incrementarse la magnitud absoluta, también se incrementa su temperatura. Esta relación se muestra en la figura II.7. Se puede ver un patrón claro. Este patrón forma el diagrama de Hertzsprung-Russell (H-R), el diagrama más importante en la evolución estelar hoy en día.

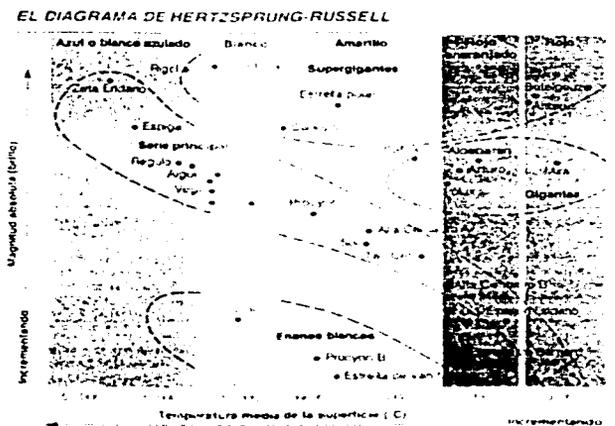


Fig II.7 El diagrama H-R muestra que, para la mayoría de las estrellas, cuando incrementa la magnitud absoluta, la temperatura de la superficie también incrementa

La mayoría de las estrellas están en un área que va desde la parte izquierda superior hasta la parte derecha inferior del diagrama H-R. Esta área se conoce como la secuencia principal. Las estrellas en esta zona se llaman estrellas de la secuencia principal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Estas estrellas constituyen más del 90 % de todas las estrellas. Las estrellas más calientes brillan con luz azul o blanca azulada y se ubican en la parte izquierda superior del diagrama H-R. Las que son frías y oscuras están en la parte derecha inferior.

El diagrama H-R además identifica el otro 10 % de las estrellas. No aparecen en la secuencia principal. Llegaron a su estado actual al envejecer. En el área sobre la secuencia principal están las estrellas gigantes y supergigantes. En el área debajo de la secuencia principal están las enanas blancas. Estas estrellas son más pequeñas y oscuras que las de la secuencia principal.

En conclusión, las estrellas se agrupan de manera ordenada en ciertas regiones, dependiendo no solo del tipo espectral y la magnitud absoluta, sino también de acuerdo a su tamaño. Ya que no se puede experimentar con las estrellas en un laboratorio con una muestra o cuerpo, ni tampoco se puede ser testigo presencial, milenio tras milenio de toda la historia del universo mismo. ¿cómo se puede entonces seguir la evolución de una estrella? Suponiendo que las estrellas se forman de manera continua en el tiempo, lo que el diagrama H-R nos muestra es que las estrellas se encuentran en diferentes etapas evolutivas, además que en esta evolución la temperatura y la luminosidad no pueden tomar valores cualesquiera, sino solamente ciertas combinaciones, ciertos valores específicos. Se puede decir que el número de estrellas en cada zona refleja el tiempo relativo que pasa en cada una de estas zonas.

Un resultado básico de la teoría de la evolución de las estrellas es que las estrellas más masivas evolucionan más rápido que las de menor masa y por consiguiente abandonan primero su posición en la secuencia principal hasta llegar a la región de las gigantes rojas

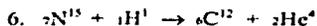
II.7 Reacciones termonucleares

Desde los trabajos de Atkinson y Houtermans, en 1929, los astrónomos tenían la seguridad de que las estrellas eran fuentes de energía atómica, que se liberaba en su interior. Se suponía, en efecto, que a las temperaturas de varios millones o decenas de millones de grados que atribuyen las teorías de la radiación de las estrellas, como se ha dicho, a las regiones centrales del Sol y de las estrellas, la agitación térmica de los átomos o de sus núcleos —a estas temperaturas los núcleos se encuentran, según se sabe, casi completamente desprovistos de su envoltura electrónica por la violencia de los choques— había de comunicarle energía cinética suficientes para franquear las barreras de potencial y desencadenar numerosas reacciones nucleares.

Pero fue en 1938 —cuando los progresos de la Física atómica y nuclear ya habían permitido catalogar gran número de reacciones nucleares, en particular las promovidas por los elementos ligeros más comunes que se encuentran en el Sol— cuando los físicos Hans Bethe, en América, y C. von Weizsacker, en Alemania, pudieron determinar, independientemente el uno del otro, de una teoría satisfactoria de los procesos que mantienen a las estrellas como objetos luminosos durante miles de millones de años. Estos procesos son las reacciones termonucleares de fusión entre diferentes elementos químicos. La serie de reacciones nucleares que transforma el hidrógeno en helio en la hoguera de 20 millones de grados del centro de muchas estrellas, como se creía que era la del Sol.

Esta serie de reacciones, a la que se da a menudo el nombre de ciclo de Bethe o también, a veces, se le llama ciclo del carbono, puede descomponerse en las siguientes etapas:

1. ${}^6\text{C}^{12} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^7\text{N}^{13} + \gamma$
2. ${}^7\text{N}^{13} \rightarrow {}^6\text{C}^{13} + e^+$
3. ${}^6\text{C}^{13} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^7\text{N}^{14} + \gamma$
4. ${}^7\text{N}^{14} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^8\text{O}^{15} + \gamma$
5. ${}^8\text{O}^{15} \rightarrow {}^7\text{N}^{15} + e^+$



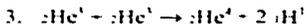
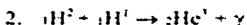
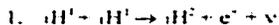
de las cuales, la 1,3, 4 y 6 son transmutaciones prácticamente instantáneas, mientras que la 2 y 5 por descomposiciones radiactivas diferidas.

En este ciclo, en el que el carbono se comporta como un catalizador químico, ya que se halla finalmente regenerado y dispuesto a servir de nuevo, han desaparecido 4 átomos de hidrógeno y se ha formado un átomo de helio, al mismo tiempo queda liberada una cantidad de energía igual a la diferencia de masa.

La energía liberada en este ciclo, que aproximadamente dura de 2 a 3 millones de años, es de 4 cienmilésimas de ergio por átomo de helio formado; como la cantidad de materia del astro es enorme, el gasto total de energía correspondiente al ciclo resulta de 2 ergios por gramo por segundo, valor que parece corresponde al que puede deducirse de las observaciones.

Por otro lado los núcleos de helio (partícula α), es uno de los núcleos más estables de la naturaleza, y sólo puede reaccionar a temperaturas de muchos millones de grados.

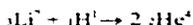
Critchfield propuso otro ciclo de reacciones que se muestra eficaz en las temperaturas consideradas. Las reacciones son:



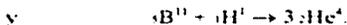
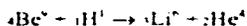
Se unen dos protones que forman un núcleo de deuterio (hidrógeno pesado); éste choca, a su vez, con otro protón y origina un isótopo de helio, con liberación de energía. La unión de dos isótopos así formados produce un átomo de helio y regenera otros dos de hidrogeno. La reacción 2 es casi instantánea; en cambio, la 1 es lenta. Cada formación de un átomo de helio supone la liberación de 4 cienmilésimas de ergio de energía. Esta liberación crece en razón de la 4ª potencia de la temperatura (T^4). Este rendimiento es menor que el del ciclo de Bethe, el cual varía en razón de T^{17} .

El ciclo se reduce, finalmente, a la transformación de hidrógeno en helio y para ello basta, una temperatura inferior a la necesaria para el ciclo del carbono. A esta serie de reacciones se le conoce por el nombre de ciclo protón-protón.

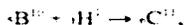
Otras reacciones que se desencadenan a temperaturas más bajas, que permiten explicar la producción de energía para las estrellas gigantes, cuyas temperaturas centrales son del orden de millones de grados. Estas reacciones se basan, por orden de temperaturas crecientes, primero en la formación de helio por colisión de un protón y un núcleo de deuterio (reacción 2), reacción que ya se produce a la temperatura de medio millón de grados, es decir, en las gigantes rojas y en las variables de largo período de Tipo M; a una temperatura más elevada, del orden de 2 millones de grados, como en las gigantes del tipo K, el litio puede entrar en reacción, siempre sometido al bombardeo de los protones, para obtener también helio, de acuerdo con



En las gigantes de tipo G y F, y en particular en las cefeidas, cuyas temperaturas centrales están entre 3 y 6 millones de grados aproximadamente, se dan las siguientes reacciones



El litio formado se transmuta rápidamente en helio, debido a una colisión con un protón. Por último, en las gigantes de tipo A, con una temperatura central más elevada, de 1 a 14 millones de grados, la reacción

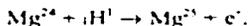
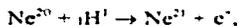
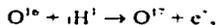


que se obtiene el isótopo del boro con formación de un isótopo raro del carbono, ha de contribuir también a la producción de energía en la estrella. A una temperatura central mayor que las gigantes A, ya se junta con la serie principal, en la que bastan los ciclos protón-protón y el del carbono para explicar la mayor parte de la radiación.

En las estrellas enanas blancas, en las cuales no existe prácticamente hidrógeno alguno, a no ser en la superficie, estas estrellas irradian a expensas de su energía de gravitación, contrayéndose progresivamente.

Finalmente, Salpeter ha propuesto un ciclo de reacciones en las que el combustible no es el hidrógeno, sino el helio. Para ellas precisa una temperatura central del orden de 200 millones de grados, que sólo se tiene en las estrellas de tipo W y en los núcleos de las nebulosas planetarias.

Entre 30 y 120 millones de grados de temperatura central, hay reacciones de captura de protones en las que son combustibles el oxígeno, el neón o el magnesio:



La rapidez con que se efectúan estas reacciones es creciente con la temperatura. Por ejemplo, a 40 millones de grados la duración del Ne^{20} es del orden de 5 000 años.

En conclusión, la masa que se pierde se ha convertido en energía. La mayor parte restante se convierte en calor y luz. Y es por eso que una estrella brilla. Claro que no toda la luz de la fusión nuclear es visible. Alguna puede que sea radiación infrarroja o ultravioleta, ondas radiales y rayos X.

Conclusión

En este capítulo se trataron las propiedades observables de las estrellas: magnitud, color y espectros de donde se infiere la temperatura y composición química, y se explica la manera de calcular la distancia a la que se encuentran las estrellas.

CAPÍTULO III

Evolución estelar

Nunca tendremos la edad suficiente para vivir y decir que es contemporáneo de esa o aquella estrella, que nacimos al mismo tiempo. Sin embargo, el universo está en continuo cambio, en incesante evolución, aunque esto es muy difícil de percibir debido a la lentitud con que los cambios ocurren, esto se debe a la corta duración de nuestra vida en comparación con los larguísimos tiempos en que evolucionan las estrellas.

La idea de que las estrellas evolucionan tiene amplio apoyo teórico y de observación. Las estrellas están radiando energía, este proceso se tiene que hacer a expensas de algo y no puede haber estado ocurriendo eternamente. Pero la prueba concluyente de esta evolución es lograr observar a algunas que estén naciendo y a otras que estén muriendo.

El secreto está en que el cielo está lleno de ellas y en que no todas las que vemos se encuentran en el mismo estado de evolución. Se han visto nacer y morir estrellas y se han presenciado cambios de estado en algunas otras; esto ha permitido elaborar modelos de evolución estelar bastante satisfactorios que concuerdan con las observaciones cada día más abundantes.

En este capítulo veremos cómo nacen las estrellas, conocer las causas que logran la fecundación de estos embriones, después hablaremos de la vida de una estrella, es decir, la forma en que transcurre su juventud. Finalmente tomaremos como ejemplo a nuestra estrella: el Sol, para conocer sus características y su evolución.

III.1 Nacimiento de las estrellas

Todas las estrellas nacen dentro de nubes de gas y polvo interestelar. Esta afirmación esta apoyada por gran cantidad de observaciones que muestran que los objetos más jóvenes se encuentran en zonas donde la densidad de esa materia es especialmente elevada. La atracción gravitatoria de las partículas de las nubes interestelares hace que ésta se mantenga unida como un todo. Se observan muchas nubes gaseosas en el espacio interestelar, que contienen gas y polvo y que por un estímulo externo pueden condensarse en estrellas. Estas nubes son grandes, de enormes dimensiones y contienen una masa entre 10 mil y más de un millón de masas solares.

Las partículas de una nube de gas están siempre en movimiento, tanto más rápido cuanto mayor es la temperatura. Este movimiento es una forma de energía, denominada energía interna de la nube, y tiende a dispersarla. La atracción gravitatoria entre las partículas tiende, por el contrario, a reunir las, a concentrar la nube. Para dispersarla hay que suministrar energía; la necesaria para deshacer completamente la nube se define como energía potencial gravitatoria. Para que la nube se condense, llegando a formar una estrella, es preciso que la energía interna sea inferior a la que se necesita para la dispersión, condición que recibe el nombre de criterio de Jeans. Una nube de gas y polvo que cumpla este criterio, abandona a su propia gravitación, se contrae indefinidamente. El proceso de formación de las estrellas consiste en el paso de una nube de materia interestelar a un objeto luminoso que, en el diagrama H-R estará situado en la secuencia principal. Una etapa intermedia importante la constituyen los embriones de estrellas o protoestrellas, primer resultado de la condensación de la nube.

Para que se produzca la condensación de la nube debe cumplir el criterio de Jeans. Este relaciona temperatura, masa y densidad de la nube. La temperatura de las nubes interestelares es muy baja, del orden de los -273° C. La densidad también es muy pequeña, de unos pocos átomos por centímetro cúbico. En esas condiciones, para que sea posible la condensación, es necesario que la masa de la nube sea del orden de miles de masas solares. Pocas nubes poseen esa masa y ninguna estrella común la tiene, ni podría tenerla, pues

estallaría a poco de formarse. Sin embargo, es posible que se formen estrellas, ya que existen mecanismos exteriores a la nube que la comprimen y aumentan su densidad, logrando contraerse entonces por efecto de su propia gravitación aunque su masa sea menor; por otra parte, al contraerse la nube se fragmenta en trozos más pequeños que originan los embriones estelares. De este modo, la primera nube da lugar no a una estrella, sino a todo un cúmulo estelar. Una vez que se forma una estrella, si sobra materia de la nube original, permanece en la proximidad. Esta suele estar girando en la parte exterior y aplanada de la nube, dando origen a la formación de los planetas, satélites, anillos, asteroides y cometas.

Los mecanismos de compresión de las nubes son:

1. Choques entre ellas que, al incorporar la materia unas en otras, aumentan a la vez la masa total y la densidad.
2. Oscilaciones en la densidad de la nube, que provocan oleadas en la materia interestelar, con idénticos efectos, es decir, una parte de la nube puede ser ligeramente más densa que otra y romper, de este modo, el delicado balance entre presión y gravedad, ocasionando un colapso gravitacional.
3. Separación de gases fríos y calientes (inestabilidades térmicas), es decir, el gas se comprime y calienta al contraerse, y así aumenta la presión dentro de la nube. Esta presión actúa en dirección opuesta a la gravedad, y retarda la contracción, e incluso puede volverla imposible. Para que proceda, es necesario que el gas se enfríe de alguna manera.

Una vez aseguradas las condiciones para que la gravitación domine sobre las fuerzas que tienden a dispersar la nube, ésta se contrae progresivamente. Se dice que ha iniciado su colapso. En este momento, la densidad va aumentando, pero hasta que se alcanzan los cien átomos de gas por centímetro cúbico, la nube deja de pasar libremente toda clase de radiaciones, tanto las procedentes del exterior como las que se originan en su interior. Las primeras contribuyen a calentarla; las otras a enfriarla. El balance es tal que la temperatura disminuye al aumentar la densidad.

A partir de cierto momento (cuando la densidad es de 1 000 átomos por centímetro cúbico), la nube ya no deja pasar las radiaciones procedentes del exterior. La única causa de calentamiento es la contracción del gas que se calienta al comprimirse. Pero la nube contiene también granos de polvo que enfrían el gas, ya que están en contacto con él y, en cuanto se calientan, emiten el calor recibido en forma de radiación infrarroja, logrando enfriar la nube por medio de radiación emitida. El resultado es que la temperatura continúa bajando: pasa de -263° C, cuando la densidad es de 20 000 átomos por centímetro cúbico, a -268° C, para un millón de átomos por centímetro cúbico. A partir de aquí vuelve a subir a -261° C para mil millones de átomos por centímetro cúbico. El aumento de temperatura se debe a que la nube ya no deja escapar libremente la radiación que se producen en su interior, por lo tanto es opaca a las radiaciones infrarrojas de los granos.

La condensación de las nubes de materia interestelar por efecto de su propia gravitación tiene lugar, al principio, sin que ninguna fuerza se oponga a ella. El resultado es que la materia se concentra mucho más hacia el centro que en el resto de la nube. Esa zona central es la primera en volverse opaca y calentarse. Como sucede en cualquier gas, aparece una presión que tiende a frenar la caída de materia hacia el centro, a detener la contracción. Llega un momento en que la presión contrarresta casi exactamente la atracción gravitatoria: en la zona en la que esto sucede cesa prácticamente la contracción. Aparece entonces un núcleo denso y casi estable, que constituye la protoestrella o embrión estelar, sobre el que continúa cayendo materia más tenue. La lluvia de materia sobre la superficie del embrión hace que aumente la temperatura de esta última, como se puede constatar cuando dejamos caer una bola de plomo al suelo, desde una gran altura, la bola se aplasta y se calienta; lo mismo sucede con los gases y el polvo de la nube. Durante cierto tiempo, la radiación emitida por la estrella tiene su origen en este proceso. La temperatura en la superficie de la protoestrella es elevada, pero la de la radiación que nos llega es relativamente baja (radiación infrarroja). Ello se debe a que no la recibimos directamente, sino que antes de llegar hasta nosotros ha sido absorbida y emitida de nuevo por la nebulosidad, mucho más fría, que rodea a la protoestrella. Esta nebulosidad se vuelve más tenue y, por tanto más transparente. A su vez, el calor producido por su caída disminuye. El núcleo caliente aparece como una estrella rojiza y de gran diámetro en la primera etapa de su juventud.

Las estrellas se forman debido a la existencia de dos fuerzas básicas de la naturaleza; una de ellas es la fuerza de gravitación y la otra fuerza proviene de la llamada presión del gas, que se origina por el movimiento azaroso de las partículas calentadas en el interior estelar. Este calentamiento proviene principalmente de la generación de energía nuclear, que se debe a los procesos de fusión. Gracias a la fusión nuclear, la protoestrella pronto comienza a brillar, y a emitir calor y luz. Ese es el momento en que nace una estrella. La fuerza debida a su propia gravitación (que va de la superficie hacia el centro), se equilibra con la fuerza producida por el gas (que va del centro hacia la superficie); por lo que la estrella se mantiene muy estable durante varios miles de millones de años.

III.2 Vida de una estrella

Cuando los embriones estelares se hacen visibles a través de los restos de la nube de la que se han formado, puede considerarse que comienza la vida de las estrellas. Su aspecto en esa etapa, así como el de su interior, dependen de su masa. De este modo, las estrellas de gran masa (20 ó 30 veces la del Sol) habrán iniciado ya las reacciones termonucleares (fusión de núcleos de hidrógeno para formar otros de helio) cuando la nube que los rodeaba era aún muy densa. Tales estrellas aparecerán azules y muy luminosas, y en el diagrama H-R ocuparán una posición sobre la secuencia principal, en la parte superior izquierda de la misma (ver la figura II.7). Por el contrario las estrellas como el Sol serán rojas y de gran diámetro; en su interior no se producirán aún reacciones termonucleares.

Estas estrellas que todavía no han alcanzado, en sus zonas centrales, temperaturas del orden de los 10 millones de grados (se necesitan para que se inicie la combustión del hidrógeno), seguirán contrayéndose y calentándose hasta obtenerlas. Esta etapa se conoce como contracción gravitatoria presecuencia principal. Este nombre proviene de que la única

fuerza de energía de la estrella es aquí gravitatoria y de que esos objetos rojizos y de gran tamaño quedan situados, en el diagrama H-R, a la derecha de la secuencia principal.

La evolución de la estrella, contrayéndose, hace que su luminosidad disminuya y que su superficie se caliente; en el diagrama, la estrella ocupa sucesivas posiciones describiendo una línea o camino evolutivo, la cual termina en un punto, incluido dentro de la secuencia principal, que depende de la masa de la estrella.

La contracción gravitatoria es tanto más rápida cuanto mayor es la masa. Para una estrella como el Sol, dura unos 15 millones de años.

Al iniciarse la combustión del hidrógeno, todas las estrellas ocupan una línea del diagrama H-R, llamada secuencia principal.

Las estrellas de mayor masa son más luminosas y azules; las de masas menores, más débiles y rojizas. De ahí que la secuencia principal inicial sea una línea inclinada que va desde el ángulo superior izquierdo al inferior derecho del diagrama. La luminosidad de cada estrella en esa etapa es, aproximadamente, proporcional al cubo de su masa. La estrella permanece en la secuencia principal mientras dura la combustión del hidrógeno en su zona central. Es ésta la fase más larga de su vida. En el Sol, que se encuentra actualmente en ella, durará, en total, unos 5 000 millones de años. En estrellas de masas mayores esta fase puede ser mucho más breve: menos de 100 millones de años. Su duración es inversamente proporcional a la luminosidad del astro. En esa etapa el camino evolutivo prácticamente se detiene: la estrella ocupa un punto fijo en el diagrama H-R.

Al agotarse el hidrógeno en el centro de la estrella, sus capas exteriores se dilatan y enfrían; el punto que la representa en el diagrama H-R se desplaza hacia la derecha (y en general, también hacia arriba). Se inicia una nueva etapa de la evolución.

Una estrella de masa parecida a la del Sol se dilatará extraordinariamente: sus capas exteriores llegarán a ser muy poco densas y su superficie se enfriará; su luz se volverá

rojiza y la luminosidad aumentará, pese al enfriamiento, debido al gran incremento del radio. Se habrá transformado en una gigante roja.

Las estrellas de gran masa, que en la secuencia principal eran gigantes azules, evolucionan también, sin apenas cambiar su luminosidad, hacia gigantes rojas: sus capas exteriores se dilatan y su superficie se enfría. A consecuencia de la gran dilatación de sus capas exteriores, las gigantes rojas pueden llegar a expulsarlas. Se cree que las nebulosas planetarias —grandes envolventes de gas que rodean una estrella muy caliente y poco luminosa— es el resultado este proceso.

La evolución hasta la fase de gigante roja, nos lleva al ángulo superior derecho del diagrama H-R. Las etapas posteriores son mucho más problemáticas: dependen a la vez de la masa de la estrella y de los procesos físicos que en ella se llevan.

Si la estrella, tiene inicialmente o a consecuencia de la expulsión de sus capas exteriores, una masa inferior a 1.4 veces la del Sol, terminará su vida como una enana blanca. Agotados sus combustibles termonucleares, irá contrayéndose por efecto de su propia gravitación. Su luminosidad disminuirá y la temperatura de su superficie irá en aumento. A consecuencia de la enorme elevación de su densidad, las propiedades de la materia en el interior de la estrella cambian y no se rigen ya por las leyes de la Física clásica. En particular, la presión es mucho mayor de la que correspondería a un gas de la misma densidad y a la misma temperatura.

Las enanas blancas se sitúan en el ángulo inferior izquierdo del diagrama H-R. Su destino es enfriarse paulatinamente hasta desaparecer como objetos luminosos.

Es muy probable que las estrellas que evolucionan como gigantes rojas conservando masas notablemente superiores a la del Sol, terminan su vida de un modo bastante más espectacular: estallan, expulsando violentamente una gran parte de su masa, y dejan un residuo muy denso: un objeto parecido a un núcleo atómico por su densidad y composición, aunque su masa sea comparable a la del Sol. Este residuo será, una estrella de neutrones.

Incluso es posible que el objeto sea tan denso que impida la salida de toda radiación: se tratará entonces de un agujero negro, cuyas propiedades deben ser analizadas por la teoría general de la relatividad.

En el siguiente capítulo, analizaremos todas estas etapas desde el punto de vista de los procesos físicos que las determinan.

III.3 El Sol nuestra estrella

En los capítulos anteriores hablamos de las características de las estrellas, que están muy lejos, que se ven como puntos de luz, que tienen diferente: temperatura, tamaño, color, masa y composición química, y no sólo eso, la energía que producen es por reacciones termonucleares. Cómo sabemos tanto de las estrellas si sólo vemos puntos de luz en el cielo. No cabe duda que tenemos a un cómplice en esta investigación, que ha denunciado y exhibido a las estrellas, somos afortunados por contar con ella: El Sol.

La estrella más cercana a nosotros es el Sol (ver la figura 1.1), esta solamente a 150 millones de kilómetros de la Tierra, en cuyo centro el proceso de fusión termonuclear de hidrógeno en helio está ocurriendo en cantidades difíciles de concebir. Cada segundo, en el interior del Sol se transforma más de 4 millones de toneladas de materia en energía. Esta energía resultante de las reacciones termonucleares viaja desde el centro hasta la superficie del Sol, donde es radiada en forma de luz al espacio circundante. La Tierra intercepta sólo una cantidad ínfima de este flujo generosísimo de energía y la casi totalidad escapa hacia el espacio interestelar.

Cuando se empezó a analizar el origen de la energía solar, que era lo que mantenía esa hoguera ardiendo. De todas las conjeturas, surgieron teorías que en su momento fueron desechadas. Las teorías son las siguientes:

1. *Por combustión.* Cuando comenzó a considerarse seriamente la causa de la radiación solar se pensó que podría tratarse de una combustión como las que se efectúan en la Tierra. Esta teoría se tuvo que rechazar muy pronto, porque si el Sol estuviera formado de carbón y contuviera la cantidad exacta de oxígeno que se requeriría para esa combustión, se agotaría su combustible en unos 5 mil años, o quizás menos tiempo.

Además, el Sol está demasiado caliente para quemarse, a la temperatura superficial que tiene de 6 000° C, no pueden existir los compuestos químicos que intervienen en la combustión, sino que los elementos químicos están disociados.

2. *Por meteoritos.* El hecho de que diariamente lleguen a la Tierra millones de pequeños meteoritos dio lugar a otra teoría sobre el origen de la energía solar que consiste en suponer que se deba el calor a la energía producida por la caída de meteoritos.

Esta teoría también se ha tenido que rechazar porque para que el Sol conservara su calor por caída de material meteórico, debería ser éste en tal cantidad que duplicar la masa del Sol en unas cuantas decenas de millones de años, circunstancia que se ha demostrado que no ocurre. Además, la Tierra debería estar también constantemente bajo una lluvia de meteoritos mucho más intensa que la que realmente recibe.

3. *Por la contracción.* También se supuso que la energía térmica del Sol pudiera deberse a energía potencial. De acuerdo con esta teoría, al ir contrayéndose el Sol la energía potencial que por gravitación tenía cuando su diámetro era muy grande, se iría transformando en energía cinética de las moléculas.

Esta teoría tampoco se ha podido sostener, pues por contracción el Sol dejaría de ser una fuente de energía calorífica en unos 50 millones de años, lo cual es inadmisibles ya que solamente la vida en la Tierra tiene unos 300 millones de años. Además de acuerdo con esta teoría, el Sol debió tener hace unos 20 millones de años un diámetro igual al de la órbita de la Tierra, lo cual es incompatible con la edad que se supone tienen los restos de los animales más antiguos que se conocen.

Sin embargo, no es imposible que durante las primeras etapas de su evolución el Sol haya obtenido energía por contracción.

4. *Por desintegración radiactiva.* De acuerdo con la teoría de la desintegración radiactiva, se supuso que el calentamiento que estas sustancias originan al desintegrarse podría

explicar la energía solar. Para ello se requería que cada metro cúbico del Sol contuviera 3.6 gramos de radio. Sin embargo, esta teoría también se tuvo que desechar porque no se a podido comprobar que contenga esta cantidad tan grande de radio y además no es seguro que en las condiciones reinantes dentro del Sol el radio emita tanta energía como lo hace aquí en la Tierra.

5. *Por Fusión termonuclear.* Esta fue la teoría que finalmente explicó con mayor satisfacción el origen de la energía solar, y cuyo proceso se desarrolló en el capítulo anterior. Si el Sol está perdiendo 4 millones de toneladas de su masa cada segundo, de modo que en 150 millones de años su masa se reduce en 0.001%. Considerando que en el hidrógeno se transforma en helio, a partir de 4 átomos de hidrógeno se obtiene uno de helio, si la masa atómica del hidrógeno (m_H) y del helio (m_{He}) son: 1.008 y 4.004 respectivamente, entonces se tiene que:

$4 m_H - m_{He}$ = Energía liberada en esta reacción nuclear

$$4 (1.008) - 4.004 = 0.028,$$

lo que quiere decir, que se desprende energía equivalente al 0.7% de la masa original.

Muchas veces nos preguntamos, ¿por qué es el brillo del Sol tan enorme en comparación con las otras estrellas? La diferencia se debe simplemente a que el Sol está comparativamente cerca, mientras que las estrellas se hallan muy alejadas, a distancias astronómicas que son tan enormes, que en ocasiones se escapan de la imaginación. Por eso las estrellas se ven como puntos de luz, mientras que nuestra cercana estrella nos deslumbra.

El Sol, con base en su temperatura y su tamaño se conoce como una estrella enana del tipo G2(V); este tipo de estrellas es de color amarillo, con temperatura superficial del orden de 6 000 grados, más calientes que las estrellas rojas pero más frías que las azules, y son moderadamente brillantes. No es una estrella grande, tiene solo alrededor de 1 400 000 kilómetros de diámetro, aproximadamente 109 veces el diámetro de la Tierra. Es una estrella de mediana edad, aproximadamente 5 000 millones de años, y con una masa de 2

quintillones de kilogramos (2×10^{30} kg), aproximadamente 332 mil veces la masa de la Tierra.

No es un cuerpo sólido, sino gaseoso, con una densidad media de 1.4 veces la densidad del agua. El Sol gira, completando una vuelta en aproximadamente 27 días, pero como no es sólido, sus regiones ecuatoriales giran más rápido que las polares. Algunas observaciones han sugerido que su diámetro polar es 70 kilómetros menor que el diámetro ecuatorial, pero prácticamente puede considerarse esférico, a diferencia de algunas estrellas que giran muy rápidamente y son esferoides fuertemente aplanados.

La radiación solar o energía emitida por el Sol en forma de ondas electromagnéticas dentro del intervalo espectral es la que abarca desde los rayos gamma, rayos X, radiación ultravioleta, radiación del espectro visible, radiación infrarroja, ondas de radio hasta las ondas de radar. En la figura III.1 se representa una gráfica que nos muestra la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra a nivel del mar. Dentro de esta radiación se encuentran tres ventanas que son:

1. La radiación solar ultravioleta que representa un 9% de la energía solar total que llega a la Tierra, y que para fines prácticos se subdivide en los siguientes tipos.
 - a) Radiación ultravioleta banda "C" (UVC), que comprende longitudes de onda hasta los $0.280 \mu\text{m}$, es muy difícil que llegue a la superficie de la Tierra, ya que interactúa en la capa atmosférica llamada estratosfera (entre los 12 y 35 kilómetros de altura), formando y destruyendo ozono, de manera que su presencia en la superficie de la Tierra es casi nula.
 - b) Radiación ultravioleta banda "B" (UVB), entre los $0.280 - 0.315 \mu\text{m}$, la cual sí se puede detectar en la superficie de la Tierra, de hecho este tipo de radiación es importante para la buena salud del ser humano, ya que la exposición a este tipo de energía permite la síntesis de la vitamina D

- c) Radiación ultravioleta banda "A" (UVA), de los 0.315 – 0.400 μm , es la parte espectral del ultravioleta más cercano al espectro visible; su conocimiento es básico para comprender mejor la dinámica de problemas como la contaminación que se genera en la ciudad de México a partir del uso de combustibles fósiles.
2. La radiación solar visible (luz visible), la cual representa el 40% de la energía solar total que llega a la Tierra, es luz del Sol que pueden ver nuestros ojos y su ventana espectral está limitada entre los 0.400 – 0.770 μm . Dentro de esta ventana espectral se encuentran las longitudes de onda en las que las plantas responden espectralmente para llevar a cabo la fotosíntesis, y es la principal fuente de energía por la que se llevan a cabo todos los fenómenos meteorológicos (precipitaciones, vientos, evaporación, etc).
 3. La radiación solar infrarroja (infrarrojo cercano), aproximadamente aporta un 51% de la energía solar que llega a la Tierra; al igual que la ultravioleta, no es visible para el ojo humano.

También en la misma figura III.1 se observan muescas (región sombreada) que indica que en algunas longitudes de onda, llega menor radiación solar a la superficie de la Tierra; esto se debe a que ciertos gases (ozono y vapor de agua principalmente) y partículas suspendidas en la atmósfera (aerosoles), logran absorber radiación solar en esas longitudes de onda, disminuyendo así su incidencia en la superficie. Pero debido a las diferentes actividades que desarrolla el ser humano y a fenómenos naturales como las erupciones volcánicas, la atmósfera ve alterada su composición, de manera que espacial y temporalmente la radiación solar sufre considerables modificaciones en la superficie de la Tierra.

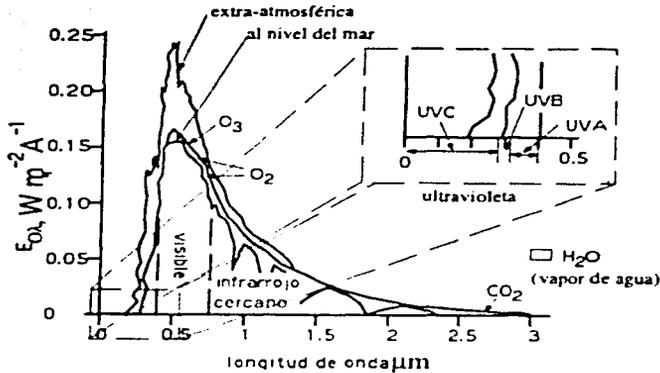


Fig. III.1 Distribución de la irradiancia en el espectro solar

La mayor parte del Sol es hidrógeno; aproximadamente el 92 % de sus átomos son átomos de hidrógeno y casi todo lo restante es helio. Los demás elementos (carbón, nitrógeno, oxígeno, neón, magnesio, silicio y hierro, en un estado conocido como plasma) son prácticamente impurezas, pues constituyen solo el 0.2 % del número total de átomos.

El Sol es una esfera de gas caliente, pero no una esfera homogénea, tiene una estructura diferenciada en capas concéntricas de diferentes propiedades. La estructura del Sol está compuesta por el núcleo, la fotosfera, la cromosfera y la corona, como se ve en la figura III.2.

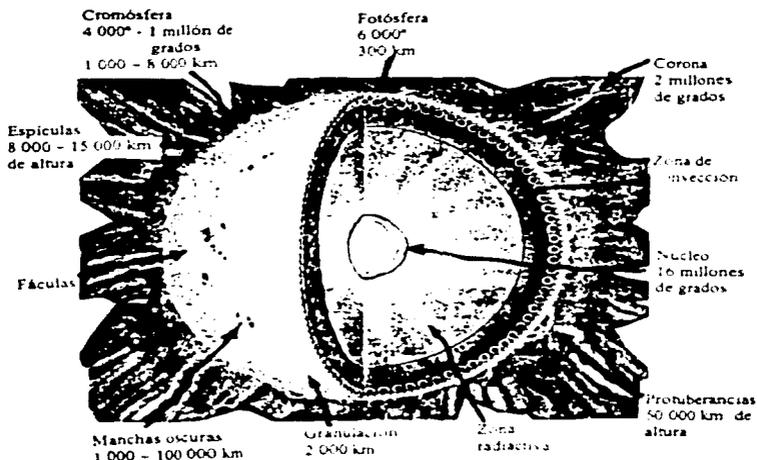


Fig. III 2 1 estructura del Sol

La estructura del interior del Sol no puede observarse en forma directa y sólo puede deducirse mediante consideraciones teóricas a partir de sus características superficiales. De esta manera se ha estimado que su interior está diferenciado en zonas. La parte central, que ocupa el 25% de su radio es el núcleo, aquí se produce de forma constante una enorme cantidad de energía por reacciones nucleares; además tiene una temperatura de 16 millones de grados. En la zona radiativa, esta energía es transportada hacia la superficie del Sol, primero en forma de radiación (por absorción y emisión de rayos X) y posteriormente en la zona de convección por medio de burbujas de gas caliente que suben hasta la superficie.

La superficie visible del Sol es la fotosfera, cuyo nombre quiere decir esfera de luz y es una capa muy delgada, de aproximadamente 300 kilómetros de espesor (0.05 % del radio del Sol), compuesta de gases incandescentes, alcanza una temperatura de 6 000°. En la fotosfera se producen fenómenos muy conocidos y estudiados, como las granulaciones, las manchas y las fáculas.



Fig. III.3 Imagen del Sol tomada con un radiotelescopio

En la fotosfera, se genera la mayor parte de la energía solar que se recibe en la Tierra, ya que emite un continuo de radiación electromagnética, casi toda en el visible. Las capas superiores de la fotosfera también absorben radiación, produciendo el espectro de líneas de absorción de Fraunhofer que se superpone al espectro continuo de emisión. La capa baja de la fotosfera está compuesta por material parcialmente ionizado (en su mayor parte hidrógeno) y en sus capas altas el hidrógeno es principalmente neutro. La densidad típica de la fotosfera es de manera aproximada de un 10 milésimo de la del aire al nivel del mar y contiene en total sólo un quinto de una billonesima de la masa del Sol. En la fotosfera la temperatura disminuye de abajo hacia arriba, desde $8\ 500^{\circ}$ en su base hasta unos $4\ 500^{\circ}$ en la parte superior y su temperatura media es de alrededor de $6\ 000^{\circ}$.

Cuando se observa en detalle a través de un telescopio, la fotosfera presenta un aspecto granuloso; la superficie del Sol está cubierta por un sinnúmero de pequeñas celdas brillantes separadas por delgadas líneas oscuras (Fig. III.4). Estas celdas, llamadas gránulos tienen un tamaño promedio de 2 000 kilómetros y son de vida muy corta: cada granulo individual tiene una vida de alrededor de 10 minutos después de los cuales se desvanece, por lo que el aspecto granular de la superficie solar es cambiante de forma continua.

Además de estos pequeños gránulos, se encuentra una granulación de mayor escala, los llamados supergránulos, de aproximadamente 30 000 kilómetros de diámetro, cuyas vidas son de alrededor de un día y suman del orden de 5 000 en cada momento.

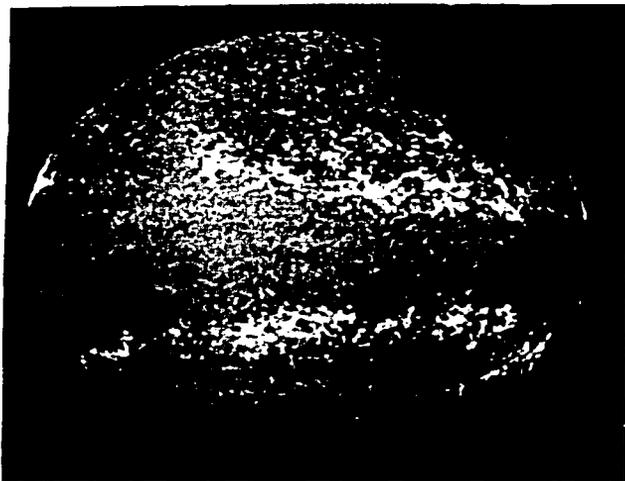


Fig. III.4. Imagen del Sol en rayos X y ultravioleta.

Pero la característica más notable de la fotosfera son las llamadas manchas (Fig. III.5), enormes regiones oscuras con tamaños entre 1 000 y 100 000 kilómetros (más de siete veces el diámetro de la Tierra) que rotan con el Sol y cuyo número aumenta y disminuye siguiendo un ciclo de aproximadamente 11 años (Fig. III.6). La temperatura en la región de las manchas es de aproximadamente 3 500°; esta pequeña diferencia de temperatura con respecto a la fotosfera hace que las manchas solares aparezcan oscuras. Las manchas duran un promedio de dos meses, y pasan por periodos de crecimiento, plenitud y disminución. Por lo regular aparecen en grupos que constan generalmente de dos grandes y de otras más pequeñas.

Gracias a las manchas solares se ha podido observar que la rotación del Sol es mucho más lenta en los polos (aproximadamente 35 días) que en el ecuador solar (de 25 días). Este fenómeno prueba que la estructura superficial del Sol es meramente gaseosa; sin embargo, a unos 200 000 kilómetros debajo de la fotosfera.

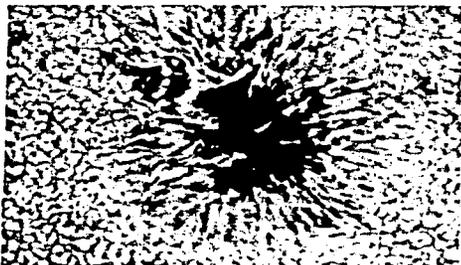


Fig. III 5 Mancha solar

En la fotosfera solar aparecen también las fáculas, que son enormes regiones de forma irregular son más brillantes y más calientes que el resto de la fotosfera y que suelen estar asociadas a las manchas. Las fáculas están compuestas generalmente de hidrógeno. El exceso de temperatura en una fácula es de cuando más 250°.

Aunque parece que la fotosfera es la capa más externa, en realidad no es así. Cuando la brillante fotosfera es cubierta por el disco de la Luna durante un eclipse total del Sol, es posible distinguir dos capas superiores de tenue brillo pero claramente diferentes, que se conoce como la atmósfera solar. La primera de ellas es una capa de luz rojiza llamada cromosfera. Por encima de ella se encuentra la corona, de tenue luz aperlada que se extiende hasta más allá de la Tierra. En realidad el Sol no tiene una superficie bien definida, sino que su densidad disminuye continuamente desde su centro hacia fuera a través de todo el sistema planetario y se mezcla, más allá de él, con el material interestelar. Lo que se llama el radio del Sol es la distancia del centro al borde superior de la fotosfera, para el Sol se extiende en realidad por muchísimos millones de kilómetros.

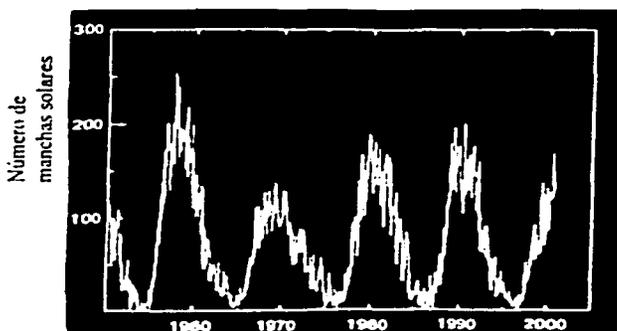


Fig. III.6 Actividad solar

En la cromosfera, es posible observar durante un eclipse total de Sol, un anillo de intensa coloración rojo magneta que yace inmediatamente encima de la fotosfera con un grosor muy variable, entre 1 000 y 8 000 kilómetros, la intensa coloración es la que le dio a la cromosfera su nombre que significa esfera de color. En la parte inferior de la cromosfera, la temperatura es de unos 4 000° y sus primeros 3 000 kilómetros están compuestos en especial por átomos neutros de hidrogeno, con una densidad del orden de un billón de átomos por centímetro cúbico. Cerca de los 3 000 kilómetros de altura la temperatura empieza a subir rápidamente, alcanzando un valor de un millón de grados alrededor de los 8 000 kilómetros; a esta altura la densidad ha bajado hasta unos 1 000 millones de átomos por centímetro cúbico y todo el material se encuentra ionizado. La parte alta de la cromosfera se conoce como la región de transición; a partir de ahí empieza la corona, la capa del Sol de mayor extensión, la cual envuelve a todos los planetas del sistema solar. El gas en la cromosfera tiene una densidad tan baja que no puede emitir luz blanca, solo emite en algunas líneas espectrales, de las cuales las más intensas pertenecen al hidrogeno, al helio y al calcio, y son las que le dan su coloración

En la orilla del disco solar, la cromosfera presenta el aspecto de una llameante pradera de la cual surgen enormes lengüetas individuales por todos lados. El aspecto de pradera

llameante lo constituye una gran cantidad de pequeños chorros de material llamados espículas que se levantan y se desvanecen entre 5 y 10 minutos. Las espículas aparecen como pequeñas y brillantes oleadas, algunas muy delgadas y otras hasta de unos 500 kilómetros de grueso. Emergen a partir de los 1 500 kilómetros de altura y se levantan hasta una altura aproximada de 8 000 kilómetros, y algunas sobre pasan los 15 000 kilómetros de altura sobre la fotosfera; el material en el chorro alcanza una velocidad de entre 20 y 30 kilómetros por segundo.

Sobre el borde formado por las espículas, y adentrándose ya en la corona, surge de vez en cuando inmensos arcos de material, enormes volúmenes de hidrógeno más denso y más frío que el gas circundante, que se alzan hasta unos 50 000 kilómetros o más sobre la superficie del Sol, los cuales pueden permanecer durante semanas y aun meses sin desvanecerse. Estas inmensas oleadas, llamadas protuberancias estacionarias (Fig. III.7), se observan sobre el disco en la línea H α como largos filamentos oscuros que se enrollan a lo largo de cientos de miles de kilómetros.



Fig. III.7 Protuberancia solar

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La corona está más arriba de la cromosfera (Fig. III.8), es la última y más extensa capa del Sol, llamada así porque al observarla durante un eclipse total de Sol resplandece con tenue luz blanca apalabrada, coronando el disco oscurecido. La luz de la corona cerca del Sol es apenas tan intensa como la de la Luna llena por lo que sólo es posible observarla sobre el limbo durante un eclipse total de Sol o con instrumentos especiales llamados coronógrafos, los cuales por medios artificiales provocan una especie de eclipse en la imagen del telescopio para estudiar los fenómenos que se llevan a cabo en la corona solar.

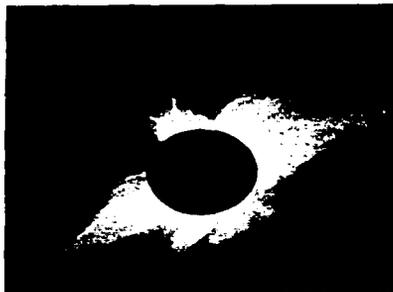


Fig. III.8 La corona solar

Uno de los espectáculos más hermosos que brinda un eclipse solar es la corona en el momento de la totalidad, ya que se puede admirar un resplandor muy bello de rayos y arcos suavemente curvados, sugiriendo en algunas parte plumas o pétalos de dalia de diferentes longitudes que se forma alrededor del Sol. Las fotografías tomadas desde la Tierra muestran a la corona extendiéndose más allá de 2 radios solares, sin embargo con imágenes tomadas con satélites pueden medir hasta 12 radios solares. La forma de la corona depende de la actividad solar: cuando es baja, los rayos de los polos son muy cortos y rectos, mientras que los del ecuador son muy largos. En actividad alta, su forma es simétrica.

La corona es tan tenue que cuando ocurre el eclipse pueden observarse las estrellas a través de ella. Al pasar de la cromosfera a la corona, la densidad de partículas baja rápidamente, siendo del orden de 1 000 veces menor en unos 100 000 kilómetros. En la parte inferior de la corona, donde la densidad es mayor, ésta es del orden de 200 millones de partículas por centímetro cúbico, lo cual representa casi un billonésimo de la densidad de la atmósfera terrestre al nivel del mar. Cerca del Sol, el brillo de la corona es de un millón del brillo del disco y decrece muy rápidamente con la distancia; a unos dos radios solares su brillo es de 100 veces menor. Su temperatura, por el contrario aumenta con la distancia al Sol, alcanzando un valor medio de 2 millones de grados a una distancia de dos radios solares. Considerando que la energía se genera en el núcleo, es como si conforme uno se alejara de una hoguera aumentara el calor en vez de disminuir.

Este misterioso comportamiento se empezó a estudiar en el siglo XIX, cuando durante los eclipses del Sol se observaron líneas espectrales de elementos hasta ese momento desconocidos. Fue hasta 1940 que algunas de estas líneas se asociaron a átomos de hierro que han perdido la mitad de sus electrones, situación que requería temperaturas muy elevadas.

Posteriormente, instrumentos a bordo de satélites descubrieron que el Sol emite rayos X y ultravioleta (Fig. III, 4), lo cual sólo puede ocurrir si las temperaturas son del orden del millón de grados.

Después de decenas de años tratando de entender qué está calentando a la atmósfera del Sol, se tienen dos posibles respuestas:

- a) El Sol tiene un campo magnético y se observa que en las regiones donde éste es más intenso, también la temperatura es mayor. Hay regiones cuyos campos magnéticos son opuestos y al encontrarse, debido al movimiento continuo de las estructuras solares en la fotosfera, estos campos se aniquilan y la energía magnética se transforma en calor que aumenta la temperatura de la corona.
- b) El calentamiento de la corona mediante ondas, el interior solar debajo de la fotosfera tiene un vigoroso movimiento al que se le llama convección. Este

movimiento puede generar ondas que se propagan por la atmósfera disipando su energía y calentándola. Primero se pensó en las bien conocidas ondas de sonido, pero se llegó a la conclusión de que se disiparían casi totalmente en la cromosfera y ya no llegarían a la corona para calentarla. Entonces se pensó en las ondas magnéticas que, debido a sus características, se disipan menos en su viaje hacia la corona.

Las observaciones parecen indicar que ambos mecanismos están operando, pero depende de los movimientos fotosféricos que perturban el campo magnético solar. Si los movimientos se dan con periodos de medio minuto o más largos, entonces no se pueden generar ondas y lo que trabaja es la aniquilación de campos magnéticos. Parece ser que la mayor parte de la corona es calentada por aniquilación de campos magnéticos de pequeños arcos, de los cuales existen millones en la corona solar en todo momento. Estas pequeñas explosiones se llaman microráfagas y nanoráfagas. En cambio, en las regiones llamadas hoyos coronales, de las cuales sale el llamado viento solar (que es la atmósfera del Sol que sale con velocidades que en la Tierra alcanza hasta 1 000 km/s), se han medido oscilaciones del orden de segundos, indicando que estas regiones son posiblemente calentadas por disipación de ondas magnéticas.

Además de las ondas electromagnéticas, también emite partículas, que está constituido por el plasma coronal, formado esencialmente de protones y electrones de muy diversas energías y constituyen lo que se llama el viento solar. El flujo detectado de la corona solar correspondería en realidad a una velocidad muy alta, entre uno y tres millones de kilómetros por hora a la distancia de la órbita de la Tierra. También se ha detectado el viento solar a distancias mayores que 30 U.A., y por cálculos teóricos se estima que este soplando hasta 50 o 100 U.A., más allá de la órbita del último de los planetas del sistema solar. A la distancia de la órbita de la Tierra tiene una densidad de 10 a 100 partículas por centímetro cúbico, un vacío mucho más perfecto que cualquiera que se pueda obtener en los laboratorios terrestres y, sin embargo, se hace notar no sólo su presencia, sino sus efectos.

El viento solar despoja al Sol de un centésimo de billonésima de su masa cada año, lo cual no es en realidad muy alarmante, pero, además su flujo frena la rotación del Sol; si el viento solar continuara fluyendo de la misma manera, en unos 4 000 millones de años se habría llevado solamente 40 millonésimas de la masa del Sol, pero habría disminuido la rotación de éste de manera aproximada en un 40%.

Finalmente queremos reconocer que el Sol no es una estrella cualquiera, ni otra más entre las estrellas, es ... nuestra estrella. Por ello los científicos se preocupan para describir las condiciones del Sol y el viento solar, porque estos pueden afectar sistemas tecnológicos, ya sea espaciales o terrestres, poniendo en peligro la vida o salud humana. Esta área de investigación se conoce como clima espacial.

La actividad solar perturba el ambiente espacial, afectando diversos sistemas en la Tierra. En la parte alta de la atmósfera, o fuera de ella, las partículas altamente energéticas pueden poner en peligro a astronautas o pasajeros de vuelos aéreos, además de dañar celdas solares y componentes electrónicos de satélites, aunado a esto, los cambios en la densidad provoca un efecto de arrastre sobre ellos. Las corrientes ionosféricas generadas durante una tormenta geomagnética afectan las señales de transmisión y pueden producir diferencias de potencial sobre la corteza terrestre que dañan plantas de energía eléctrica, gasoductos y comunicaciones por cable; en la salud humana, tiene relación con problemas psicológicos, cerebral y cardíaco. Particularmente puede mencionarse el infarto al miocardio, la embolia cerebral, la hipertensión, el asma, la muerte súbita, los accidentes en general y de tráfico, etc.

En el capítulo V se propone una actividad para construir un filtro solar y así poder observar de manera segura las manchas solares y las granulaciones de la superficie del Sol.

Conclusión

En este capítulo tratamos el origen y evolución de las estrellas. La masa de la estrella en el momento de nacer, es lo que define, el lugar que ocupara en el diagrama H-R. También se consideró al Sol para conocer la estructura de las estrellas.

CAPÍTULO IV

Muerte de las estrellas

Las estrellas durante toda su vida producen luz y calor mediante procesos de fusión termonuclear que ocurren en su interior, como la energía de las estrellas no es inagotable, tarde o temprano, llegarán a su fin, es decir, las estrellas también se mueren, como nosotros, ya sea en forma tranquila o explosiva. Miles de millones de años después de su formación, estrellas de menor masa o similares al Sol llegan a su destino. Las estrellas masivas recorren más intensa y rápidamente el camino de su vida y algunas de ellas se precipitan a su fin en sólo unas decenas de millones de años. Agotada la última posibilidad de continuar con las reacciones de fusión nuclear, las estrellas se apagan. Después de transcurrir la mayor parte de su existencia en condiciones muy estables, las estrellas se precipitan rápidamente hacia su muerte.

Pero no es el mismo tipo de muerte el que espera a todas las estrellas, las características de las etapas finales de su evolución dependen de su masa: las estrellas pequeñas mueren de forma más modesta que las grandes, se extinguen simplemente, mientras que las estrellas masivas tienen esplendorosos finales explosivos. Así la esplendorosa estrella puede acabar como: una enana blanca, una estrella de neutrones o un hoyo negro.

En este capítulo trataremos el desenlace final de una estrella. Para su análisis dividiremos a las estrellas en tres tipos: las de masa pequeña (menor que la masa del Sol y mayor que la masa de Júpiter), las de masa mediana (entre 1 y 8 masas solares) y las de masa grande (mayor a 8 masas solares). Las estrellas de masa pequeña terminarán como enanas rojas o cafés, las de masa mediana como enanas blancas y las de masa grande como estrellas de neutrones o quizás como un hoyo negro.

IV.1 Estrellas de masa pequeña

Las estrellas más pequeñas, las que tienen menos masa se llaman enanas, su masa es menor que la del Sol y mayor que la de Júpiter que es un planeta gigante. Al igual que las demás, se forman dentro de nubes de gas y polvo. Puesto que tienen poca masa, la presión y la temperatura en sus núcleos son relativamente bajas y agotan lentamente su combustible nuclear. Por consiguiente son comparativamente frías pero muy abundantes. Todo parece indicar que a la naturaleza le resulta más fácil hacer objetos pequeños que grandes. Por cada planeta hay millones de asteroides y por cada estrella como el Sol hay miles de estrellas enanas.

Estas estrellas enanas a las que nos referimos pueden ser rojas o cafés. Estas últimas se dice que nunca llegaron a ser estrellas. Analizaremos estas dos enanas para conocer sus características.

IV.1.1 Enanas cafés o marrón

La teoría de estas estrellas, por mucho tiempo inimaginable, fue expuesta en los años 60 por Kumar, y el nombre de "estrellas marrón" se lo dio W. Tarter en 1995. En realidad, una enana marrón es una estrella que no ha llegado a serlo, por no lograr reunir una masa superior al límite de Hayashi. Este límite, se encuentra aproximadamente a 0.08 masas solares. Toda acumulación de materia inferior a esta masa, aunque pueda colapsar y alcanzar temperaturas de más de un millón de grados, es incapaz de generar reacciones nucleares capaces de mantenerse indefinidamente y de dar vida propia al intento de estrella.

Su tamaño no se diferencia mucho del de una enana roja, lo que se diferencia es su temperatura, que generalmente no llega a los 2 000° en su superficie, pudiendo alcanzar en su centro de uno a dos millones. Emiten preferentemente en el infrarrojo, y por eso es difícil detectarlas visualmente. La masa de una enana café puede oscilar entre 14 y 80

masas jovianas. Un cuerpo menos masivo sería como Júpiter y un cuerpo de más de 80 masas jovianas es una estrella.

En realidad, estrellas muy poco masivas son las enanas marrones o café, menos masivas que todo el resto de la clasificación de las estrellas que se conocen. Objetos pálidos con una masa de sólo unas pocas veces la del planeta Júpiter. Como la masa es menor que 0.1 masas solares la presión central nunca serán tan altas para forzar una temperatura cercana a los 10 millones de grados. Así jamás se inician reacciones nucleares y por ende la estrella se enfría y se contrae hasta adoptar una estructura muy densa donde serán los electrones de los átomos los que proporcionarían finalmente la presión para impedir que la estrella continúe contrayéndose. La cuasi-estrella pasará de enana café a una estructura semejante a la de las enanas blancas para terminar, posiblemente, como una enana negra sin haber nacido nunca como estrella. El proceso es muy lento pues la cantidad de energía radiada del espacio por una enana café es muy pequeña (menos de una millonésima de la luminosidad del Sol).

Como ya lo mencionamos, uno de los planetas que se encuentra dentro de estos límites es Júpiter, con una masa de un milésimo de masa solar, está en el límite inferior de las masas de las enanas café. Se sabe que está radiando al espacio más energía que la que recibe del Sol y su estructura interna es semejante a la de las enanas blancas.

La primera enana marrón descubierta es Gliese 229 B por el astrofísico T. Nakajima en el observatorio de Cerro Palomar en Octubre de 1994, y un año después el Telescopio Espacial Hubble confirmó este descubrimiento. En una estrella enana roja, denominada Gliese 229, a 19 años luz del Sol, se detectó a una enana café orbitando a una distancia de 44 UA desde dicha estrella, en una órbita tan amplia por lo menos como la de Plutón, y tiene una masa entre 20 y 50 veces la de Júpiter, con una temperatura superficial que esta entre los 1 000° y 1 200°.

Con una masa muy condensada dentro de un diámetro aproximado al de Júpiter, y una temperatura como la que se ha señalado, pero con decrecimientos graduales, la atmósfera de Gliese 229 B ha desarrollado, compuestos de metano al igual que la atmósfera de Júpiter, lo que implicó el antecedente para determinar que el objeto no era una estrella común. Probablemente no exista en este astro ningún núcleo sólido y que su estructura sea una inmensa bola de gas. Pero Gliese 229 B es muy masivo para ser planeta y, es por eso, que fue finalmente confirmado como una enana café.

Estrellas café o marrón confirmadas desde 1994 hasta 1996:

Nombre	Sistema	Masas de Júpiter	Tipo de estrella	Espectro	Distancia (pc)	Brillo	Temperatura
Gliese 229B	Binario	20 - 50	Roja	M1V	6.7	-	1 000°- 1 200°
Kelu-1	Monoestelar	75	Café		10	22.3	1 200°- 1 700°
CALAR 3	Monoestelar	15 - 50	Café	-	-	-	-
PIZ-1	Cúmulo abierto	< 50	Café	-	-	-	2 000°
AB DOR B	Binario	-	Naranja	K1 IIIp	-	-	1 500°
KSI UMA-B	Cuádruple	80	Amarilla	F8.5V	7.7	4.87	1 000°- 1 200
HB29587B	Triple	65 - 70	Amarilla	G2V	45	7.29	1 000°- 1 200°
HD140913B	Binario	80	Amarilla	G0V	-	8.08	1 000°- 1 200
HDS9707B	Binario	-	Amarilla	G1V	25	7.9	1 000°- 1 200°
HD283750B	Binario	-	Naranja	K2	16.15	8.42	1 000°- 1 200°
HD217580B	Binario	-	Naranja	K4V	18	7.46	1 000°-

							1 200°
HD110833B	Binario	-	Naranja	K3V	17	7.04	1 000°- 1 200°
HD112758B	Triple	-	Amarilla	K0V	16.5	7.56	1 000°- 1 200°
HD18445B	Múltiple	-	Naranja	K2V	-	7.84	1 000°- 1 200°
BD04782	Binario	-	Naranja	K5V	-	9.39	1 000°- 1 200°

Estrellas café o marrón sin confirmar:

WOLF 424 BC, EPSILÓN ERI B, PPL 15, TEIDE 1, 6I CYGB y CD-337795.

IV.1.2 Enanas rojas

Las otras estrellas enanas tienen una masa entre 0.1 y menos de una masa solar, estas son de color rojo y por eso se les llama enanas rojas, en estas estrellas si hay reacciones termonucleares. La temperatura superficial es del orden de los 2 000° son relativamente frías pero muy abundantes.

Puesto que las estrellas enanas rojas queman su combustible muy lentamente viven mucho: unas diez veces mas que el Sol, es decir unos 100 mil millones de años. Como nacen más enanas rojas y además viven mucho son las más abundantes de todas. Por otro lado como la intensidad de luz que producen es menor a la de otras estrellas son más difíciles de observar.

Una estrella enana roja quema hidrógeno toda su vida, por lo tanto al agotarse su combustible inevitablemente llegara a su fin. Una estrella de 0.5 masas solares puede durar 30 000 mil millones de años, y una de 0.1 masas solares sobrepasa los 100 000 millones de años. Esto implica que no conozcamos una estrella enana roja que se encuentre en la fase

final de su existencia: sólo los modelos teóricos pueden predecirnos de un modo lógico cómo será su final.

De las enanas rojas que se han podido observar el 70% son de tipo M. de 0.15 a 0.2 masas solares, y una vida activa estimada del orden de 60 000 a 100 000 millones de años. Entre las más cercanas están:

Nombre	Distancia (años-luz)	Tipo
Próxima Centauri	4.3	M5
Estrella de Barnard	5.9	M5
Wolf 359	7.7	M8
BD +36° 2147	8.2	M2
Luyten 726-8	8.9	M6
UV Cet	9.1	M5
Ross 154	9.4	M4
Ross 248	10.3	M5
Luyten 789-6	10.7	M6
Ross 128	10.8	M5
Struve 2398 A	11.6	M5
Struve 2398 B	11.6	M6
BD -43° 44 A	11.6	M1
BD -42° 44 B	11.6	M6
CD -36° 15639	11.7	M2
BD +5° 668	12.1	M5
CD -39° 14192	12.5	M0
Estrella de Kapteyn	12.7	M0
Krüger 60 A	12.9	M3
Krüger 60 B	12.9	M5

La densidad media de estas estrellas es de unas 4 a 5 veces la del agua, es decir, similar a la de un planeta rocoso, y sorprendentemente muy superior a la de Júpiter o Saturno. Las enanas rojas son tan gaseosas como otras estrellas cualesquiera, pero su densidad es precisamente la que, pese a su relativamente baja masa, permite las presiones centrales capaces de desencadenar las reacciones nucleares. Esta densidad las hace por otra parte más opacas, caracterizadas por un régimen convectivo muy lento, y un escaso desgaste de energía. Su viento estelar es por su parte extremadamente débil, otra circunstancia que les permite mantener con muy escasa pérdida su masa inicial. Densidad, opacidad y baja actividad fotosférica cuentan entre los secretos de la casi eterna juventud de las enanas rojas.

En el diagrama H-R (Fig.II.7) se puede observar en la parte inferior derecha que la inclinación del diagrama se hace más fuerte, hasta el punto que cerca de su inicio resulta casi vertical. Esto significa que hay estrellas enanas rojas de similar espectro-temperatura y diferente luminosidad. Esta aparente anomalía se atribuye a la diferencia de opacidad entre estrella y estrella, parámetro este que varía bastante en las enanas rojas. Pero también la teoría predice un progresivo aumento de la luminosidad, sin incremento de la masa, como simple consecuencia de la progresiva aceleración de las reacciones termonucleares en el centro de una estrella. Efectivamente, conforme el hidrógeno se transforma en helio, aumenta la masa atómica media en el horno nuclear. Un núcleo de helio ocupa menos espacio que cuatro núcleos de hidrógeno de que procede. El horno se hace más denso, y se incrementa la frecuencia de colisiones entre proton y proton. Como consecuencia, la producción de energía en el centro de la estrella aumenta, y por tanto crece también su luminosidad. La enana roja no deja de ser roja, porque su aumento de energía le corresponde un aumento de volumen, y por lo tanto un reparto de esa energía por una mayor superficie. La enana roja no se ha convertido en una gigante roja ni nada que se le parezca; simplemente, con los miles de millones de años, se ha hecho menos enana, sin dejar de ser por eso más o menos igual de roja. Lo que significa que la posición en diagrama puede indicarnos hasta cierto punto la vejez de una enana roja. Aquellas que, con

el mismo espectro, poseen una luminosidad mayor que otras, puede ser simplemente de edad más avanzada que ellas. Finalmente cuando se les agota el combustible en los núcleos, las estrellas se apagan y se enfrían lentamente convirtiéndose en una estrella enana negra.

Finalmente se puede concluir que lo que determina que un cuerpo sea una estrella o un planeta es sólo su masa; si la masa es pequeña jamás podrá ser estrella, se solidificará y será un planeta. En el caso inverso si su masa es muy grande su destino inevitable es convertirse en estrella, pues su temperatura central superará los 10 millones de grados. Una de las diferencias más relevante entre una estrella de este tipo y un planeta, se debe a que estos últimos se constituirían a partir del disco de gas que se forma junto con el nacimiento de nuevas estrellas, mientras que las estrellas marrón se empiezan a estructurar dentro de una nube interestelar.

IV.2 Estrellas de masa mediana

Las estrellas que tienen una masa entre 1 y 8 masas solares son las que se consideran estrellas de masa mediana, en esta categoría se encuentra el Sol, y es de las más pequeñas dentro de las estrellas medianas. Igual que el resto de las estrellas se forman dentro de nubes de gas y de polvo. Durante la mayor parte de sus vidas consumen hidrógeno en sus núcleos y como consecuencia produce helio y energía. En esta etapa las estrellas similares al Sol viven 10 000 millones de años. El Sol está aproximadamente a la mitad de su vida.

Las estrellas medianas, después de una larga etapa de madurez en la secuencia principal, aumentan su tamaño hasta alcanzar un diámetro ciento de veces mayor al que tenían durante su vida estable. Cuando una estrella está en esta etapa se le llama gigante roja. Cuando el Sol erezca hasta convertirse en una gigante roja, englobará a la Tierra, quemando y destruyendo a la vida que entonces pueda haber. Después de este periodo como gigante roja, comenzará la estrella a sufrir una etapa de encogimiento volviendo a pasar por el diámetro inicial y seguirá reduciéndose hasta alcanzar un diámetro similar al de la Tierra. A

las estrellas en esta etapa terminal se les conoce como enanas blancas. Agotado su combustible nuclear, la estrella comienza a enfriarse lentamente, de igual manera, su luz se va extinguiendo poco a poco y también se convierte en una enana negra.

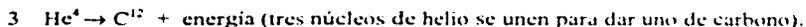
En esta sección analizaremos las características de cada una de estas etapas finales de la estrella, es decir, veremos como se llega a formar una gigante roja transformándose en nebulosas planetarias que posteriormente llegara a ser una enana blanca que anuncia su muerte como enana negra.

IV.2.1 Gigantes rojas

En esta etapa una estrella que era inicialmente como el Sol llega a ser unas 10 mil veces más luminosa y con un radio unas cien veces mayor. La estrella brilla mientras que en su núcleo la fusión nuclear cambia el hidrógeno en helio. Pero con el tiempo se va consumiendo el hidrógeno. Gran parte del núcleo pasa a ser helio. Entonces comienza a encogerse el núcleo de helio y a volver a calentarse. La cubierta exterior de la estrella todavía es mayormente hidrógeno. La energía que emite el núcleo de helio al calentarse hace que esta cubierta de hidrógeno se expanda mucho. Mientras se expande, baja su temperatura y se vuelve roja, a esta estrella se le llama gigante roja. Es roja porque así brillan las estrellas menos calientes, tienen una temperatura superficial del orden de $3\ 000^{\circ}$ y es una gigante porque su cubierta exterior se ha expandido de su tamaño original.

A medida que se quema el hidrógeno en la parte central de una estrella disminuye su concentración en esa zona y aumenta la del helio. Llega un momento en el cual, aunque la temperatura y la densidad sean más elevadas en el centro, las reacciones cesan por escasear demasiado el hidrógeno y no ser aun la temperatura lo bastante alta para que se inicie la combustión del helio. La estrella vuelve a contraerse, aumenta la temperatura en el núcleo y con ello, prosigue la combustión del hidrógeno en una capa que rodea a la zona central en la que predomina el helio. La envoltura se dilata y se enfria, aumenta el radio de la estrella

y su luz enrojece: el astro evoluciona hacia la región de las gigantes rojas. La capa en la que se consume hidrógeno se desplaza hacia el exterior y a medida que esto ocurre, el núcleo termonuclearmente inerte, sigue contrayéndose y ganando masa, su temperatura aumenta y cuando ésta es del orden de los 100 millones de grados, se inicia la reacción:



La fusión del helio, en las estrellas de masa igual o inferior a la del Sol, se inicia en condiciones especiales en las que la materia del interior dista mucho de comportarse como un gas normal.

La materia de los interiores estelares está formada por núcleos de átomos desprovistos de sus electrones y por esos mismos electrones libres, es decir, no ligados a ningún núcleo en particular. Puede considerarse como una mezcla de dos gases: uno de iones (los núcleos atómicos sin electrones) y otro, de electrones. Si se comprime progresivamente esa mezcla gaseosa se encontraría con que, a partir de cierta densidad, la resistencia a la compresión no crece en la misma proporción que a densidades más bajas, sino que se vuelve mucho mayor. Se dice, entonces que el gas está degenerado. En las condiciones de los interiores estelares, esto empieza a producirse a densidades del orden de los 100 kg cm³.

Los núcleos atómicos están aun muy separados y no influyen en el fenómeno: la resistencia a la compresión proviene casi exclusivamente de los electrones, que están alcanzando ya su densidad máxima posible. Por ello se habla a veces de gas degenerado de electrones, aunque claro está, haya siempre los suficientes iones para que se mantenga la neutralidad eléctrica (el mismo número de carga positiva que negativas por unidad de volumen)

Una propiedad característica de un gas degenerado es que su presión es casi independiente de su temperatura. Así, al comenzar las reacciones de fusión del helio se produce una especie de alud térmico: las reacciones aumentan la temperatura, lo cual incrementa el ritmo de las reacciones, etc., sin que la presión intervenga como elemento regulador, dilatando las capas de la estrella y entrandolas. Una gran cantidad de helio arde y la energía liberada permanece en esa zona, pues fuera de ella la opacidad es muy grande. La

temperatura llega a aumentar tanto que la presión de los iones acaba superando a la de los electrones y el gas, finalmente, se expande y se enfría.

La fusión del helio determina el inicio de otras reacciones, poco importantes desde el punto de vista de la producción de energía, pero que sintetizan oxígeno en cantidades variables. El resultado de la etapa de fusión del helio es la formación de un núcleo estelar, constituido por carbono y oxígeno termonuclearmente inerte, rodeado de una capa en la que tienen lugar la transformación del helio y eventualmente, de otra más superficial de transformación de hidrógeno. La estrella en el diagrama H-R (Fig.II.7), evoluciona en la zona de las gigantes rojas.

Las fases posteriores dependen en gran parte de cuál sea la masa de la estrella. Si ésta es suficiente elevada se irán transformando sucesivamente en el centro nuevos elementos, cada uno de ellos de mayor número atómico que el anterior: carbono, oxígeno, magnesio, silicio, etc. A medida que en el núcleo se agotan nuevos combustibles, se iniciará la fusión de éstos en capas que irán avanzando hacia la superficie de la estrella mientras ésta se contrae y aumenta su temperatura interior.

Al incrementarse la carga eléctrica total de los núcleos atómicos que reaccionan, la repulsión electrostática que se ha de vencer es mayor y los choques deben ser cada vez más energéticos para poder superarla y permitir así que actúen las fuerzas nucleares. De ahí que las temperaturas que se necesitan sean cada vez mayores y por tanto, la masa de la estrella tiene que ser más grande para que puedan alcanzarse.

Resumiendo, mientras la gigante roja envejece, sigue consumiendo el gas exterior de hidrógeno. La temperatura en el núcleo de helio sigue aumentando más y más. Alcanza los 200 000 000° y los átomos de helio se fusionan y forman átomos de carbono. Ahora lo que queda del gas de hidrógeno empieza a perderse y forma un envoltorio alrededor del núcleo. En este momento se dice que la estrella se ha transformado en una nebulosa planetaria. El nombre se lo dio Herschel cuando las descubrió y noto que parecían círculos difusos y verdes, similares por su color a los planetas de Urano y Neptuno.

Las estrellas centrales de las nebulosas planetarias se encuentran en la región superior izquierda del diagrama H-R, más allá de las estrellas gigantes azules, en la zona de las estrellas ultravioleta. Después de unos 10 000 años de expansión la envolvente se disuelve en el medio interestelar y deja de ser observable. Como las nebulosas planetarias tienen una vida un millón de veces menor que la de sus progenitoras, son un millón de veces menos abundantes.

Puesto que los núcleos de las nebulosas planetarias ya no producen reacciones termonucleares, emiten luz porque se enfrían. Esta etapa dura unos 100 millones de años. Las nebulosas planetarias tienen una vida relativamente corta, pues se convierten en estrellas enanas blancas.

IV.2.2 Enanas blancas

Una gigante roja experimenta pérdida de masas de su superficie. En la etapa en que ha agotado incluso el helio en su núcleo la estrella contrae su región central y arroja al espacio las cascaras más externas, transformándose en nebulosa planetaria. La nebulosa planetaria irá lentamente dejando ver el núcleo de la estrella, inicialmente muy caliente y que se irá enfriando para dar origen a un tipo de estrella que se conoce como enana blanca. Su tamaño es como la Tierra, de unos 10 000 Km de diámetro, unas 100 veces menor que el Sol. Sin embargo contiene una masa muy parecida a la del Sol (lo que pierde en la fase de gigante roja y como nebulosa planetaria es un porcentaje pequeño de la masa original). Por lo tanto la densidad de la enana blanca es aproximadamente de una tonelada por centímetro cúbico, es decir, la materia comprimida en la enana blanca es tan densa que una cucharadita de esta materia puede tener una masa de varias toneladas.

La materia en una enana blanca se dice que está degenerada pues está tan comprimida que los átomos han perdido todos sus electrones y estos forman un mar de electrones libres que se mueven entre los núcleos. En un gas normal, no degenerado, si la temperatura

disminuye, el movimiento medio de las moléculas y con ellos la presión del gas también disminuye; en un gas degenerado los electrones libres están tan comprimidos que no pueden estar en reposo pues violarían las reglas de la mecánica cuántica (el principio de exclusión de Pauli). Así el gas degenerado puede enfriarse todo lo que quiera pero la presión del gas no se modificará pues depende de la presión proporcionada por los electrones y ésta a su vez depende de la densidad y no de la temperatura. El Sol morirá como una enana blanca y se quedará para siempre como una esfera de unos 10 000 kilómetros de diámetro y totalmente frío. La Tierra no morirá de frío pues en la fase de gigante roja el Sol habrá calcinado totalmente a la Tierra.

Una enana blanca posee una superficie tanto más pequeña que la del Sol que su luminosidad es más baja. Las enanas blancas más luminosas radián sólo un 1% de la luminosidad solar. Por esa razón las enanas blancas se enfrían muy lentamente, pese a no poseer fuentes de energía, salvo su energía interna. Una enana blanca demora muchos miles de millones de años en enfriarse totalmente. Se calcula que aun no se enfrían las enanas blancas que primero se formaron en el universo.

IV.3 Estrellas de masa grande

Las estrellas de masa grande o masivas al formarse tienen más de 8 masas solares. La evolución de una estrella masiva es muy diferente al de una mediana. Se forma en el interior de nubes de gas y polvo igual que las demás. Sigue el mismo ciclo de vida de las estrellas medianas hasta convertirse en gigante roja. Pero a diferencia de las estrellas medianas, estas estrellas masivas no experimentan el cambio de gigantes rojas a enanas blancas. Se desvían por completo.

Las estrellas más masivas son las gigantes azules. También son las de mayor temperatura inicial. La superficie de una estrella gigante azul está a unos 50 000°. Estas estrellas

consumen tan rápidamente su combustible nuclear que viven 10 000 veces menos tiempo que el Sol, es decir, sólo unos cuantos millones de años.

En esta sección veremos como estas estrellas masivas se transforman en supernovas y dependiendo de la masa pueden terminar como estrellas de neutrones o bien como un hoyo negro.

IV.3.1 Supernovas

Todas las estrellas masivas experimentan una explosión como etapa final de sus vidas. Este resultado es uno de los fenómenos más espectaculares conocido como una supernova.

Una supernova es una estrella en la que se produce un aumento rápido (en unos pocos días) y extraordinariamente grande (varios millones de veces) de su brillo, seguido también de una rápida extinción. Se trata de un fenómeno relativamente poco frecuente, puesto que las estrellas gigantes azules son las menos abundantes de todas, solamente se produce una explosión de supernova cada 100 años en cada galaxia. Durante los últimos 1000 años, en nuestra galaxia sólo se han observado tres supernovas a simple vista. La primera, en el año 1054, fue estudiada por los astrónomos chinos, cuyas descripciones han permitido reconstruir con gran detalle la variación de su luminosidad con el tiempo, los restos de la explosión que la produjo constituyen la nebulosa del Cangrejo, aún en expansión. La segunda apareció en la constelación de Casiopea, en 1572 y se conoce como la supernova de Tycho (en honor a Tycho Brahe). La tercera, en la zona de Sagitario, se observó en 1604 por Kepler. Recientemente en 1987 se descubrió la explosión de una supernova en una de las galaxias satélites de la Vía Láctea llamada Nube de Magallanes: fue tan brillante que se pudo observar a simple vista, en el hemisferio sur. Los grandes telescopios colocados en el hemisferio sur tuvieron que modificarse para poder observar un objeto tan luminoso.

Durante la explosión también se produjeron neutrinos (partículas subatómicas neutras). Cientos de miles de millones llegaron a la Tierra después de recorrer los 250 000 años luz

que nos separan de la Nube Mayor de Magallanes. Fueron detectados por telescopios muy sensibles inventados para este efecto colocados en el fondo de minas para evitar detectar partículas similares producidas en la atmósfera terrestre cuando chocan con ella los rayos cósmicos. Se especula además, a partir de diversos documentos, sobre la posible explosión de supernovas observables a simple vista en épocas anteriores.

Las supernovas surgen cuando las estrellas después de transmutar el hidrógeno en helio, se transforman en gigantes rojas, iniciar la fusión del helio en carbono y agotar el helio, son capaces en ese momento de contraer el núcleo y elevarle la temperatura para que se inicien reacciones nucleares que transmuten el C^{12} en O^{16} , luego en Ne^{20} , Mg^{24} , Si^{28} , S^{32} , etc. Hasta llegar al Fe^{56} . Un átomo de Fe^{56} es el que tiene la masa mínima por partícula nuclear, esto es, la energía mínima. Cuando la estrella contrae el núcleo de Fe^{56} en lugar de producirse una reacción nuclear que libere energía se produce una reacción que absorbe la energía del núcleo de la estrella, la estrella se colapsa se queda sin sustentación en el centro; la estrella implota (se desploma hacia dentro) para rebotar en el centro y producirse una gran explosión que la destruye.

El análisis de la luz emitida por las supernovas permite estimar la cantidad de materia expulsada por la estrella, la energía empleada e incluso determinar, al menos parcialmente, su composición química. La cantidad de materia eyectada varía entre fracciones de la masa del Sol y varias veces ésta. En algunos casos el contenido de hidrógeno es muy bajo, del orden del 10%; en otros, elevado, como en la envoltura de cualquier estrella normal.

Se ha establecido una clasificación de las supernovas en dos tipos principales. Las de tipo I expulsan material pobre en hidrógeno, en cantidad bastante inferior a la masa del Sol, las de tipo II lanzan al espacio grandes cantidades de materia, compuesta principalmente de hidrógeno, con una masa total superior -a menudo en varias veces- a la del Sol.

El tipo I se asocia con la explosión de estrellas viejas, de masa no muy superior a la solar. El tipo II, a la estrella de gran masa, jóvenes (gigantes rojas de mas de cuatro masas solares).

Al cesar la fusión nuclear en una estrella masiva, el núcleo es ya mayormente hierro. No se conoce bien el proceso, pero los átomos de hierro empiezan a absorber energía. Durante la explosión de una supernova, la temperatura puede ascender hasta a 1000 000 000°C. En este calor extremo los átomos de hierro en el núcleo se fusionan en nuevos elementos que, con los gases que le quedan a las estrellas, explotan. Vuelan al espacio y producen una nube de polvo y gases y, luego, una nueva nebulosa. Sus gases llevan muchos elementos formados durante la supernova. De la mezcla del material de la supernova y materia interestelar podrán formarse nuevas estrellas.

La supernova tiene una parte que implota, creando un objeto colapsado que puede ser una estrella de neutrones o un hoyo negro. Si la masa inicial de la estrella esta entre 8 y 30 masa solares su final será una estrella de neutrones, pero si tiene más de 30 masas solares su muerte será un hoyo negro. Así, en algunas explosiones de supernova se forman unas estrellas con propiedades tan fantásticas como hacer que la luz pese considerablemente cuando está cerca de sus superficies.

A continuación trataremos las características de estas estrellas espectaculares.

VI.3.2 Estrellas de neutrones

Las estrellas con una masa inicial entre 8 y 30 masas solares terminaran su evolución como una estrella de neutrones luego de ser supernova. En el momento del estallido la masa que se colapsa tiene del orden de 1.5 a 4 masas solares (límite de Chandrasekhar 1.4 masas solares) pero con un diámetro de menos de 16 kilómetros. Es sumamente densa, una cucharadita de su materia tendría una masa de 100 millones de toneladas. Como su nombre lo indica, las estrellas de neutrones estan compuestas casi exclusivamente por estas partículas elementales neutras que están en la mayoría de los átomos de nuestro cuerpo.

Si una estrella llega al final de su evolución con una masa superior al límite de Chandrasekhar puede suceder que al no oponerse a ello una fuerza suficiente, proseguirá la contracción. El efecto de ésta será doble: por una parte aumentará la temperatura; por otra, la presión debida a los electrones se hará también cada vez mayor. El aumento de temperatura tenderá a favorecer la fusión de nuevos elementos; el aumento de la densidad, por sí solo, ya puede iniciarla: si ésta es suficiente, es posible la fusión de núcleos incluso en el cero absoluto de temperatura. Estas reacciones provocarán un alud térmico, que puede producir la explosión de la estrella.

El incremento de la energía de los electrones motivará que núcleos normalmente estables capturen un electrón, transformando un protón en un neutrón. Este proceso se conoce como neutronización de la materia. Al cabo de cierto número de capturas, los núcleos se harán inestables y desprenderán neutrones. Cuando el número de neutrones libres sea grande, éstos se comportarán como un gas de características comparables a las del gas de electrones, cuya presión puede llegar a detener la contracción.

Esquemáticamente una estrella de neutrones se compone, en primer lugar, de una corteza cristalina, formada por el isótopo más estable del hierro (Fe^{56}). A medida que avanza hacia el interior, la estructura cristalina se mantiene, pero los núcleos son cada vez más pesados y aparecen entre ellos neutrones libres. Cuando la densidad es ya de unos 100 millones de toneladas por centímetro cúbico, la estructura cristalina se disuelve: se convierte en un líquido de neutrones en equilibrio con algunos protones y electrones que se neutralizan eléctricamente. A densidades aún mayores, aparece toda clase de partículas elementales.

Todas las estrellas tienen un campo magnético y una cierta cantidad de rotación. El Sol posee un campo magnético global de una intensidad de 1 Gauss y gira en torno a un eje en un periodo de 26 días aproximadamente. Al contraerse una estrella la intensidad del campo magnético aumenta y también la velocidad de rotación. Si la estrella se contrae a los niveles extraordinarios de una estrella de neutrones (a unos 10 kilómetros de radio) su campo magnético alcanzara valores de millones de Gauss y su periodo de rotación disminuirá a fracciones de segundos. El violento giro de ese potente imán que es la estrella de neutrones

la hará emitir una gran cantidad de ondas electromagnéticas, generalmente ondas de radio, tal como la luz de un faro. Recibimos en la Tierra pulsos de radiación de una periodicidad perfecta, que fueron inicialmente atribuidos a una civilización extraterrestre. Al descubrirse más pulsares se vio que era un fenómeno frecuente en el universo y que se trataba de estrellas mucho muy densas, estrellas de neutrones que giraban varias veces por segundo.

Los pulsares son estrellas de neutrones que se originan en la explosión de supernovas. No está claro si ese es el único mecanismo para formar estrellas de neutrones, pero si se sabe positivamente que a lo menos algunas supernovas han formado un pulsar. Uno de los mejores estudiados es el pulsar de la nebulosa del Cangrejo. También en la nebulosa de Vela se ha encontrado un pulsar que corresponde a una supernova que explotó en nuestra galaxia hace varios miles de años.

IV.3.3 Hoyos negros

Las estrellas con una masa inicial de más de 30 masas solares, les aguarda un destino más extraño que las que se vuelven enanas blancas o estrellas de neutrones. Explota la supernova. Queda un núcleo tan masivo (de más de 3 masas solares) que, sin la energía creada por la fusión nuclear para sostenerlo, su propia gravedad se lo traga. Esta gravedad es tan poderosa que ni la luz escapa.

Si una estrella supera el límite de Landau —es decir cuando rebasa una densidad de 10^{15} g/cm³— lo que se requiere más de 3 masas solares, nada podrá impedir que se contraiga indefinidamente: se formara entonces un hoyo negro. Este nombre se debe a que la luz emitida por el astro no puede salir de su entorno, ya que es frenada por la enorme atracción gravitatoria. Un rayo de luz que pase por sus inmediaciones queda también atrapado.

El colapso a hoyo negro sería percibido de modo diferente por dos observadores situados, uno lejos de la estrella y el otro, en la superficie de ésta. Tal efecto es consecuencia de la teoría de la relatividad generalizada, de Einstein, ambos observadores venían reducirse el

radio de la estrella: el lejano, hacia un valor mínimo, que depende de la masa del astro, el llamado radio de Schwarzschild (igual a dos veces la masa de la estrella, multiplicado por la constante universal de la gravitación y dividido por el cuadrado de la velocidad de la luz). En el caso del Sol, valdría 2.95 kilómetros. Pero el observador situado en la superficie de la estrella la vería colapsar en caída libre (movimiento acelerado) y tardar un tiempo finito (muy corto) en reducirse a un punto. En cambio, para el observador lejano la caída se iría frenando a medida que el radio de la estrella se aproxima al límite: el tiempo necesario para alcanzar éste es infinito, aunque la luminosidad de la estrella se reduce rápidamente y pronto esta última deja de ser visible.

Por ejemplo, si una estrella como el Sol se transformara en una esfera de aproximadamente 3 kilómetros de radio la velocidad para escapar de su superficie igualaría a la velocidad de la luz. De acuerdo con la teoría de Einstein es imposible para un cuerpo superar o incluso igualar a la velocidad de la luz, razón por la cual nada ni nadie podría escapar de ella. Si la velocidad de escape de un objeto iguala a la velocidad de la luz se transforma en un hoyo negro.

Los hoyos negros surgen en forma natural de las teorías físicas con las cuales se está trabajando en la actualidad. Sin embargo es un problema interesante saber si en verdad existen en la naturaleza. Lógicamente no podemos tomar un telescopio óptico e iniciar una búsqueda de hoyos negros pues por definición no emiten luz ni radiación alguna. Se descubren de varias maneras. La primera es cuando poseen un disco de gases atrapados que gira en su entorno a altas velocidades y se calientan tanto por fricción que emiten rayos X. La otra manera es midiendo las trayectorias y velocidades de objetos que giran en torno a ellos. Sin embargo, el hecho que un gran número de estrellas tenga una compañera, sean estrellas binarias, da la oportunidad de investigar si existe alguna estrella que parezca estar girando alrededor de la nada. Se han encontrado varios buenos candidatos, el más notable de todos se llama Cygnus X-1, una fuente de rayos X bastante intensa de la constelación del Cisne. Parece tratarse de una estrella de gran masa que gira en torno de un hoyo negro al cual le está transfiriendo parte de su masa, el material gira en una espiral lo que se llama un

disco de acreción. *La fricción del gas lo calienta tanto que emite una gran cantidad de rayos X antes de desaparecer en su interior.*

Se piensa que en los núcleos de todas las galaxias grandes existen hoyos negros. Los hoyos negros de los núcleos galácticos poseen tanta materia como un millón de soles como el nuestro juntos. Para que los discos de materia que giran en torno a él brillen con la intensidad observada es necesario que se acerquen varias estrellas más grandes que el Sol cada año, para ser atrapadas, desintegrarse, formar un disco que emite rayos X y finalmente ser absorbidas y desaparecer.

¿Qué le pasa a la materia al caer al hoyo negro? Probablemente se aplasta hasta desvanecer, como la estrella que se hizo hoyo negro. Pero algunos científicos creen que pasan cosas raras dentro del hoyo negro. Quizás allí las leyes de la ciencia sean diferentes. Algunos teorizan que el hoyo negro es un pasillo a otras partes del universo, o a otros universos, o a otro tiempo.

En el siguiente capítulo haremos una actividad, para ilustrar que las estrellas masivas mueren más rápido que las estrellas de masa pequeña.

Conclusión

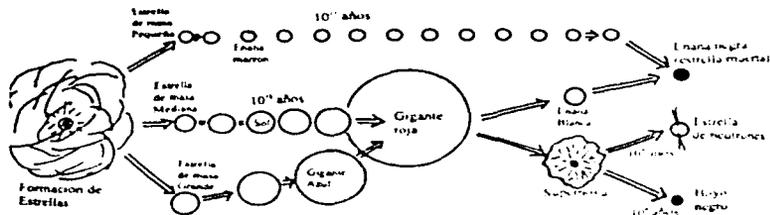
El final de una estrella no es el mismo para todas, pero todas, tarde o temprano tienen que concluir su evolución. Esta agonía depende de la masa que la vio nacer, las estrellas de masa pequeña, que se conocen como enanas son de dos tipos: las enanas café con una masa mayor que la de Júpiter y menor que 0.1 masas solares y las enanas rojas con una masa entre 0.1 y menor que una masa solar, verán su final como una enana negra

Las estrellas de masa mediana entre 1 y 8 masas solares terminaran tambien como enanas negras, pasando primero por las gigantes rojas hasta llegar a las enanas blancas

Las estrellas de masa grande con más de 8 masas solares su final será una estrella de neutrones o bien un hoyo negro, pasando primero por las supernovas.

Así como esta agonía es diferente para cada estrella dependiendo de su masa, también el tiempo que tienen de vida es diferente, las estrellas masivas mueren más rápido (

Resumiendo, la muerte de las estrellas se puede simplificar en el siguiente diagrama:



TESIS CC
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO V

Actividades didácticas

Cuando surgió esta propuesta, tenía que ver con una serie de preocupaciones, por ejemplo: ¿cómo vamos a enseñar astronomía?, ¿qué experimentos se pueden hacer?... seguramente nuestro curso terminara siendo teórico y quizás también aburrido. Tal vez no interese a ningún alumno y termine como una materia arrumbada y tirada al olvido.

Así, surgió el deseo de diseñar y construir materiales didácticos, con el propósito de que los alumnos se involucren en ellos y también los puedan reproducir.

Por otro lado los profesores contarán con los recursos para poder impartir su cátedra, teniendo la seguridad que el conocimiento se transmite mucho mejor cuando se combina la teoría con la parte experimental, y es precisamente, en esta dirección, en donde se basa este trabajo.

No pretendemos decir la última palabra, existen varias formas de abordar un tema, pero sí estamos seguros, que estas actividades motivaran a los profesores a diseñar y construir otros materiales didácticos para mejorar la enseñanza-aprendizaje de los alumnos.

En este capítulo se muestran las actividades didácticas. Para su desarrollo las dividiremos en dos tipos: las actividades didácticas manuales y las actividades didácticas fenomenológicas. Las primeras tienen que ver con aquellas actividades donde los alumnos diseñan y construyen sus materiales de trabajo. La segunda con aquellos experimentos que ilustran algún fenómeno del mundo de las estrellas.

V.1 Actividades didácticas manuales

Las actividades didácticas manuales son aquellas en donde se realizan experimentos, pero además, los materiales que se necesitan para su realización los construyen los alumnos. Estamos convencidos que si hay talleres y los jóvenes construyen, aprenden más y mejor. Usar las manos es parte del desarrollo psicomotriz de las personas y les permitirá desarrollarse mejor como individuos plenos.

En estas actividades pretendemos mostrar una serie de experimentos para reforzar o fortalecer la parte teórica de la materia de astronomía, recordando que estas actividades tienen que ver con el tema de las estrellas.

Tratamos de ser lo más claro posible, en el diseño de los materiales, para que toda persona al leer estas notas los pueda reproducir fácilmente sin ningún problema, además, están sujetos a mejorar cada uno de los prototipos que se muestran.

V.1.1 Constelaciones de bolsillo

Propósito

Identificar a las estrellas más brillante del hemisferio norte, así como la constelación a la que pertenecen

Material

- Tres brocas de diferente tamaño (1/16, 3/32 y 1/8)
- Un alfiler
- Doce tarjetas circulares de plástico o de cartón ilustración de 7 cm de diámetro (se pueden usar tarjetas telefónicas)
- Mapas de constelaciones (que tengan indicado la magnitud y la temperatura superficial de las estrellas)
- Una cartulina

- **Proyector de acetatos**
- **Pantalla para proyecciones**
- **Una navaja**
- **Un taladro**
- **Papel celofán de color rojo, amarillo, azul y anaranjado**

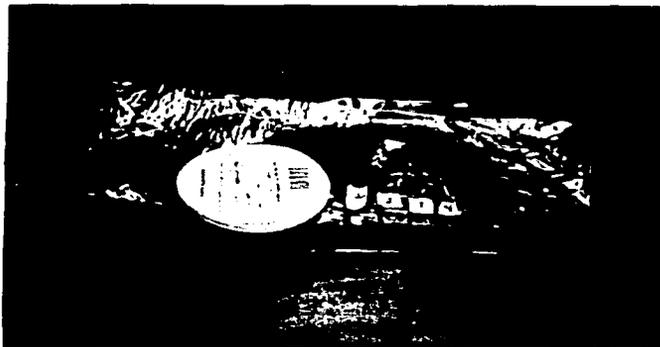


Fig. V.1 Material para construir las constelaciones de bolsillo

Desarrollo experimental

A) Para construir las constelaciones de bolsillo

1. Coloca una tarjeta abajo del mapa de estrellas, de tal manera que se pueda dibujar una constelación.
2. Marca con el alfiler el lugar que ocupan las estrellas en la constelación.
3. Perfora la tarjeta usando las brocas. Tomando en cuenta que la broca más gruesa corresponde a una estrella de magnitud 1, y así sucesivamente hasta la broca más delgada que corresponde a una estrella de magnitud 3 y el alfiler de magnitud 4.
4. Pega el papel celofán del color que corresponde a la estrella más brillante de la constelación (el color esta relacionado con la temperatura superficial).

5. En la tarjeta escribe el nombre de la constelación y el de la estrella más brillante. Con esto están terminadas nuestras constelaciones de bolsillo (figura V.2).

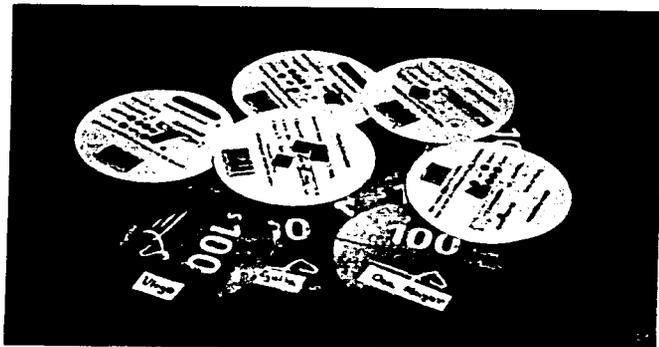


Fig. V.2. Constelaciones de bolsillo

B) Para usar las constelaciones de bolsillo

1. Corta un pedazo de cartulina del tamaño del proyector de acetatos y en el centro recorta un círculo del tamaño de la tarjeta (7 cm de diámetro).
2. Fija la cartulina al proyector de acetatos, de tal manera que cuando se enciende el proyector se verá un círculo de luz.
3. Finalmente proyecta cada una de las constelaciones. Colocando simplemente la tarjeta como si fuera un acetato.

Análisis

Las constelaciones que tienen una o más estrellas brillantes o importantes son:

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. La Osa Mayor y la Estrella Polar | 8. Escorpión (Antares) |
| 2. El Águila (Altair) | 9. Géminis (Castor y Pollux) |
| 3. El Boyero (Arcturus) | 10. La Lira (Vega) |
| 4. El Can Mayor (Adhara) | 11. El León (Regulus) |
| 5. El Can Menor (Procyon) | 12. Orión (Bellatrix, Betelgeuse y Rigel) |
| 6. El Cisne (Deneb) | 13. Tauro (Aldebaran) |
| 7. El Cochero (Capella) | 14. Virgo (Spica) |

Esta actividad motiva a los alumnos ya que el efecto que presenta esta proyección es muy parecido a la que se observa en una noche estrellada. Lo que permite identificar en el cielo a la estrella más brillante, así como relacionar algunas estrellas con la constelación a la que pertenecen. También da origen a formar en el cielo a otras constelaciones, animal mitológico o algo de nuestra época.

Es mucho más fácil buscar en el cielo a las constelaciones por separado, porque ya se sabe que tienen una estrella brillante, que buscar por primera vez una constelación o estrella en un mapa de estrellas. Así que este es el inicio para un futuro buscador de estrellas.

La estrella más brillante en la constelación esta representada como de primera magnitud (el diámetro del orificio es el más grande) y cada estrella tiene el color que corresponde a su temperatura superficial, el rojo está a 3 000°, el anaranjado a 5 000°, el amarillo a 6 000°, el blanco a 10 000° y el azul a 40 000°.

V.1.2 Astrolabio direccional

Propósito

Determinar directamente la posición de los astros que se encuentran en el cielo

Material

- Un transportador de madera grande (de 180°)
- Una brújula (podría ser para reloj)
- Un pedazo de aluminio de 1 mm de espesor y de 2.5 x 17 cm de lados (con uno de sus extremos terminado en punta).
- Hilo cáñamo de 150 cm de longitud.
- Una tira de madera de 1/2" de espesor y de 5 x 67 cm. de lados (servirá de apoyo al hombro).
- Una tira de madera de 1/2" de espesor y de 3 x 18 cm de lados.
- Un círculo de madera de 1/4" de espesor y de 5 cm de diámetro.
- Un tornillo de 3 mm de espesor por 2" de largo (con dos rondanas y tuerca)
- Dos tornillos de 3 mm de espesor por 1 1/2" de largo (con cuatro rondanas y dos tuercas)
- Dos pijas delgadas de 1" de largo (con dos rondanas)
- Una pija pequeña de 1/2" de largo (con una rondana)
- Una broca de 3 mm de espesor
- Un taladro
- Pegamento de silicon transparente
- Un tubo de cartón (o tubo de PVC) de 4 cm de diámetro y de 30 cm de largo

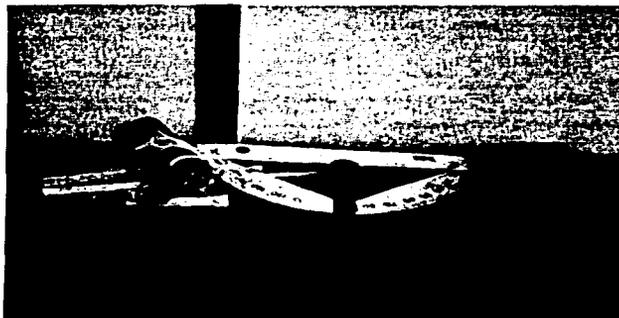


Fig. V.3 Se muestran los materiales para construir el astrolabio

Desarrollo experimental

A) Para construir el astrolabio direccional

1. Atornilla el transportador con la tira grande de madera, colocando la madera por atrás del transportador (los dos tornillos de 1 1/2" de largo).
2. Coloca la tira chica de madera sobre el transportador y atornilla a la tira grande de madera (las dos pijas de 1" de largo).
3. Pega la brújula en el centro del círculo de madera y sobre la madera dibuja alrededor de la brújula la escala en horas (recuerda que $360^\circ = 24$ horas), como se ve en la figura V.4.



Fig. V.4 Brújula graduada en horas

4. Atornilla el círculo de madera a la mitad del pedazo de aluminio (plomada) dejando la punta hacia abajo.

5. Cuelga la plomada en el centro del transportador, de tal manera que oscile libremente (con el tornillo de 2").
6. Coloca una mira en uno de los extremos del tubo, esto se puede hacer, colocando simplemente una cruz con hilo.
7. Coloca el tubo de carton (con la mira hacia el frente) sobre la tira grande de madera y fijalo con hilo. Con esto esta terminado nuestro astrolabio direccional (figura V.5).

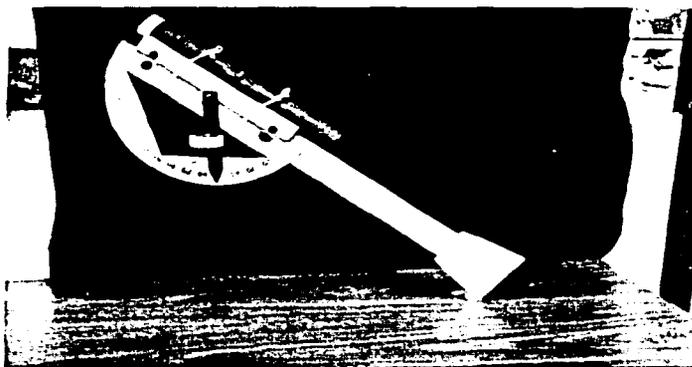


Fig. V. 5. Astrolabio direccional

B) Para usar el astrolabio direccional

1. La plomada sirve para medir la Declinacion (δ), esto implica que: $0^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$. Este parámetro se mide a partir de la vertical, en otras palabras, es cuanto se inclina el tubo del astrolabio, respecto al plano horizontal del observador.
2. La brújula sirve para medir la Ascensión Recta (α), esto implica que: $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ (en coordenadas ecuatoriales $0 \leq \alpha \leq 24$ hrs). Este parámetro se mide orientando la brújula y el tubo del astrolabio con el norte geografico. Y se empieza a medir girando el astrolabio en la direccion de las manecillas del reloj.

Análisis

El saber determinar de manera directa la ubicación de un astro, ayuda a distinguir a una estrella de un planeta, por el simple hecho de que las estrellas dan la apariencia de estar quietas en la bóveda celeste. Además, se le puede seguir en su recorrido observándola por varios días.

La intención de usar los términos Declinación y Ascensión Recta es para que los alumnos se acostumbren a usar coordenadas celestes, ya que estas permiten localizar un astro.

En realidad este astrolabio direccional usa el sistema de coordenadas horizontales, por lo que depende del observador y de la hora en que se realiza la observación. Sin embargo, creemos que es importante poder, de alguna manera, fijar o localizar los astros.

V.1.3 Paralajémetro

Propósito

Determinar la distancia a una lámpara (estrella lámpara) por el método de paralaje.

Material

- Un transportador mediano con graduación en décimas de grado.
- Un tubo de un bolígrafo de plástico.
- Pegamento
- Una cinta metálica de 1 x 8 cm de lados con un extremo en punta, de preferencia de aluminio.
- Un tornillo pequeño de $\frac{1}{4}$ " de largo
- Un carrete de hilo
- Una cinta métrica de 30 m

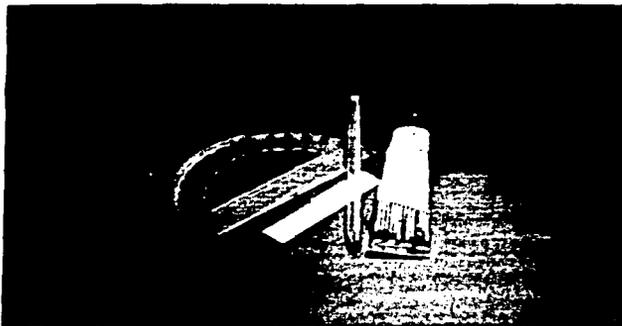


Fig. V.6 Material para construir el paralajémetro

Desarrollo experimental:

a) Para construir el "Paralajémetro" (instrumento par medir paralaje):

1. Pega el tubo de plástico sobre la cinta, procurando que la punta del tubo coincida con la punta de la cinta, de esta manera queda armada una mira telescópica.
2. Con un tornillo coloca la mira telescópica en el centro del transportador, de tal manera que la mira también sirva para medir el ángulo, como se muestra en la figura V.7. Finalmente esta listo nuestro "paralajémetro".



Fig. V.7 Paralajémetro

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

b) Para usar el "Paralajémetro"

1. Observa una lámpara o cualquier otro objeto (que será la estrella Lámpara) que esté retirado del observador (por ejemplo 50 m).
2. Traza la base del triángulo con el hilo, este te servirá de referencia para deslizar el "paralajémetro" como se ve en la figura V.8.
3. Desde un punto A, observa la estrella Lámpara y mide con el "paralajémetro" el ángulo α .
4. Luego camina a un punto B que esté sobre el hilo, hasta observar con el "paralajémetro" un ángulo igual a α .
5. Mide la distancia que hay del punto A al punto B, le puedes llamar d.
6. Con un poco de trigonometria se puede conocer la distancia a la que está la estrella Lámpara, le puedes llamar x. La expresión que permite realizar el cálculo esta dada por

$$x = \frac{d \operatorname{Tan} \alpha}{2}$$

7. Se recomienda que con una cinta métrica se mida la distancia a la que se encuentra la estrella Lámpara y se compare con el valor obtenido de la medición indirecta.

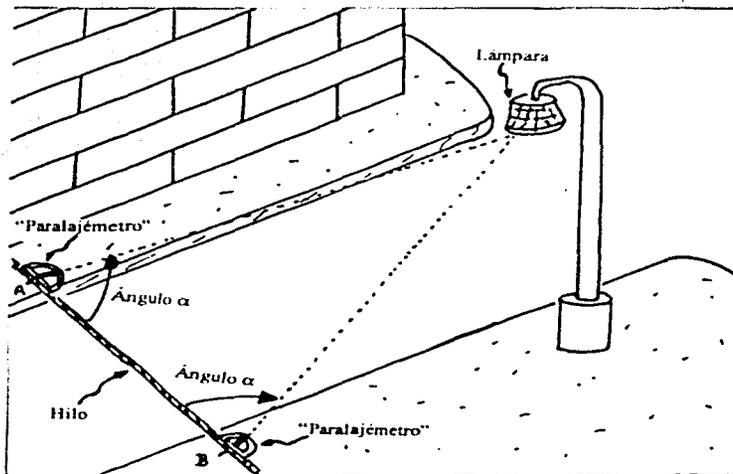


Fig. N° 8 Muestra como usar el paralajémetro

Análisis

Un método que usan los astrónomos para medir la distancia a las estrellas se conoce como paralaje. Por eso a este instrumento lo hemos bautizado como "paralajémetro" como su nombre lo indica es un instrumento para medir paralaje, desde luego que éste no es para medir la distancia a las estrellas, pero sí para medir la distancia a la que se encuentran determinados objetos de nosotros.

Como se sabe el método de paralaje funciona para estrellas cercanas, proximas a la Tierra o al Sol, porque para estrellas lejanas el ángulo de paralaje es demasiado pequeño para medirlo con precisión.

La idea de medir la distancia con una cinta métrica es para comparar el resultado que se obtiene con el "paralajémetro" y darse cuenta qué tan confiable es nuestro instrumento.

Esto da origen a que los alumnos traten de mejorarlo y que cuando salgan de vacaciones o de pasco, intenten medir la distancia a la que observan un árbol, por ejemplo.

V.1.4 Prismas de agua

Propósito

Conocer el espectro de la luz del Sol cuando un haz de luz pasa a través de un prisma.

Material

- Dos triángulos equiláteros de acrílico transparente de 3 mm de espesor y de 10 cm de arista.
- Tres rectángulos de acrílico transparente de 3 mm de espesor de 10 x 10 cm de lado.
- Una pantalla de cartulina blanca
- Pegamento de silicón transparente
- Agua
- Masking tape
- Una jeringa de 10 ml



Fig. V.9 Material que se necesita para construir el prisma de agua

Desarrollo experimental

A) Para construir el prisma de agua

1. Pega con silicón un rectángulo en cada lado del triángulo equilátero. Se recomienda que se fijen las partes que se van a unir con masking tape.
2. Después, pega con silicón el otro triángulo equilátero a los lados de los rectángulos que quedaron libres.
3. Finalmente se sellan con el silicón todas las uniones del acrílico.
4. Al día siguiente (cuando el silicón ya esté seco) con la jeringa se llena el prisma de agua, inyectándola por uno de sus vértices, ver la figura V.10.



Fig. V.10 Con una jeringa se llena el prisma de agua

5. Por último se sella el orificio que dejó la aguja de la jeringa. Con esto estará terminado nuestro prisma de agua.

B) Espectro de la luz del Sol

1. Coloca el prisma cerca de una ventana de tal manera que en una de las caras incida un haz colimado de luz del Sol.
2. En la cara contraria coloca la pantalla para que el espectro del Sol (los colores del arco iris) se proyecte en ella, ver la figura V.11.



Fig. V. 11 Se obtiene el espectro de la luz blanca con un prisma de agua

Análisis

Se puede observar que la luz blanca está compuesta de luces de colores y que a través de la obtención de espectros (como este) se pueden conocer características de las estrellas, como su composición química, temperatura, masa, diámetro, velocidad, etc.

Así como se conoce el espectro del Sol se tiene bien conocido el espectro de varias estrellas, en general para cada una de ellas hay un espectro diferente.

Lo que sucede en el prisma es que la luz al penetrar en el material, se refracta dando lugar a un haz de colores, en el cual es posible percibir el rojo, naranja, amarillo, verde, azul, añil y violeta. El índice de refracción del prisma es diferente para cada color. Por este motivo el haz refractado se presenta en forma de arco iris. El color rojo es el que sufre menor desviación, y el violeta es el que más se desvía de todos.

Algunos alumnos creen que los prismas que se usan en los laboratorios funcionan porque es un prisma especial y siempre tienen el deseo de conseguir un prisma de esa naturaleza, lo que queremos mostrar es que este prisma de agua es tan espectacular como los que se

encuentran en el laboratorio, con la diferencia que este, se puede construir fácilmente y es de bajo costo.

Otro efecto que se puede ver, es el siguiente: si el prisma esta bien sellado cuando se va a llenar con el agua, entonces se inyecta agua y se extrae aire del interior del prisma, para evitar que el aire encerrado truene el pegamento de silicón. En el momento que se extrae el aire (se hace un vacío) el agua se dilata. En el caso, que falte una cantidad pequeña de agua para llenar el prisma, al dilatarse se llena por completo.

V.2 Actividades didácticas fenomenológicas

Las actividades didácticas fenomenológicas son aquellas donde se cuenta con el material necesario para realizar experimentos. Se ponen a prueba los conocimientos sobre el tema y se plantean hipótesis.

Los materiales que se necesitan en estas actividades son fáciles de conseguir y de bajo costo (puntillas, pinzas para depilar, tapa de bote de leche, etc.), por lo que se puede pedir a los alumnos que los consigan y los lleven a sus prácticas.

Estas actividades se realizan en muy poco tiempo, por lo que se puede llevar a cabo una discusión dirigida entre el profesor y los alumnos después de terminar el experimento.

V.2.1 Mapas de estrellas

Propósito

Aprender a interpretar mapas de estrellas mediante la localización de constelaciones.

Material

- Cuatro mapas de estrellas (primavera, verano, otoño e invierno), es mucho mejor conseguir un círculo celeste.
- Una brújula
- Una lámpara de mano
- Papel celofán rojo

Desarrollo experimental

1. Localiza el norte geográfico con la brújula
2. Fija el hemisferio y la latitud de la posición de donde uno va a observar.
3. Selecciona el mapa de estrellas que corresponde a la fecha y hora del año.
4. Coloca el papel celofán en la lámpara, esto ayudara a mantener dilatada la pupila.
5. Localiza con la ayuda de la lámpara una constelación en el mapa
6. Orienta para el norte la cara pertinente del mapa.
7. Selecciona dos o tres de las estrellas más brillantes (los puntos más grandes del mapa) e intenta encontrar en el cielo; es importante fijarse en que lugar están con relación al horizonte y al cenit.

Fig.V.12 La mano puede ayudar a ubicar las estrellas en el cielo



8. Cuando se haya identificado una de estas estrellas, se intenta trazar la constelación de la que forma parte y luego se dibuja las figuras de las constelaciones cercanas.

Análisis

Con esta actividad se motivará a los alumnos a observar detenidamente la forma en que se agrupan las estrellas. Se darán cuenta de las diferentes proporciones de las escalas utilizadas en el mapa con las que aparecen dibujadas las constelaciones en el cielo.

Los mapas de estrellas son guías nocturnas. Los mapas pueden usarse en cualquier parte del mundo, pero no hay que olvidar que no todas las constelaciones son visibles desde un mismo lugar; por ejemplo, las pertenecientes a la región polar sur siempre estarán bajo el horizonte para un observador en latitudes medio septentrionales.

Los mapas celestes bimensuales ayudarán a orientarse entre las estrellas. Seleccionando el mapa adecuado al horario y la fecha de observación, la vista escogida del cielo corresponderá a la cartografía.

El tamaño de los puntos que representan las estrellas indican la luminosidad relativa; cuanto más grande es el punto, mayor intensidad. En cada mapa aparece la clave de los símbolos. La mayoría de las estrellas trazadas tienen una magnitud de 4.5 o mayor, lo que significa que son suficientemente brillantes para que puedan verse a simple vista (se puede ver hasta magnitud 6).

Parece que las constelaciones visibles desde cualquier parte del mundo recorren una sexta parte de la trayectoria girando alrededor del cielo cada dos meses, por lo que a la misma hora de la noche, cada dos meses, vemos 60° suplementarios de cielo en el este y perdemos 60° de vista en el oeste (excepto en los polos). Aunque parezca extraño, un observador que se encuentra en la ciudad de México y otro que este en Hong Kong (a pesar de estar en dos zonas de longitud separadas) verá el mismo cielo en la misma hora local, porque comparten la zona de latitud. Habrá pequeñas diferencias porque el tiempo civil se basa en zonas de tiempo estándar y no en zonas de tiempo local, pero este efecto es menos relevante.

En una noche despejada, lejos de las luces de la ciudad, es una invitación magnífica para observar el cielo. Lo que necesita un buen observador es encontrarse bien abrigado (a

menos que viva en sitios tropicales), procurarse una pequeña lámpara de mano, de preferencia de débiles luces rojas o con filtro rojo -ya que la luz blanca brillante cierra las pupilas en pocos segundos- para adaptar la vista a la oscuridad durante las sesiones de observación y disponer de cierta capacidad de visión, y contar con un mapa celeste. Hay que saber ubicar el norte geográfico, con la ayuda una brújula.

A muchas personas les cuesta trabajo usar un mapa del cielo para localizar las constelaciones. Esto no es de sorprender, ya que no resulta fácil hacerlo, pero se puede aprender poco a poco. Buenos mapas celestes se venden comercialmente en las revistas de astronomía.

Generalmente las dificultades que se tienen al usar mapas celestes por primera vez son:

1. La escala. Un mapa es una representación reducida de lo que se observa. Así como una fotografía de nosotros nos representa de unos 4 cm, es decir, 40 veces más pequeño de lo que somos, un mapa celeste, de unos cuantos centímetros, representa la totalidad de la bóveda celeste. Por consiguiente hay que expandir considerablemente las distancias dibujadas en un mapa para poder ubicar los astros.
2. La orientación. Si se pone el mapa sobre el piso estará mal orientado y se hallarán invertidos el este y el oeste. Esto se debe a que los mapas celestes se deben comparar con el cielo colocándolos entre éste y el observador, con el norte apuntando al polo norte celeste (hacia la estrella Polar o donde lo indique la brújula). Así, el este y oeste del mapa celeste se orientarán hacia el este y el oeste del observador, respectivamente.
3. El número de estrellas. Algunos mapas celestes representan más estrellas de las que es posible observar a simple vista, porque se elaboran para quienes poseen binoculares o telescopios pequeños. Además, las condiciones de nubosidad y de luces del medio ambiente varían y, por consiguiente, la cantidad de estrellas observables es menor que la registrada en los dibujos. Desde luego, también hay mapas donde el número de estrellas representadas resulta menor que las realmente visibles en noches muy oscuras y despejadas.

4. La posición de las estrellas. Debido a la rotación de la Tierra, las posiciones de las estrellas cambian durante la noche: se mueven en la misma dirección que lo hace el Sol durante el día, de este a oeste. Las posiciones de las constelaciones en general se hallan desplazadas respecto a las representadas en los mapas.

Además, debido a la rotación de la Tierra en torno del Sol durante el año, la región del cielo observable cambia a lo largo del año. Se requiere un mapa celeste distinto para cada época del año. En México la mejor estación del año para observar el cielo es el invierno, ya que es la temporada de secas y durante ella es más probable que el cielo esté despejado, además de que las noches invernales son un poco más largas. En cambio, los peores meses son los de la época de lluvias, alrededor del verano.

Muchos mapas no están elaborados para México, sino para latitudes más al norte o al sur; por consiguiente, las posiciones que indican de la estrella Polar y demás astros no coincidirán con lo observado.

Los planetas y la Luna cambian de posición respecto de las estrellas; esto se puede apreciar claramente cuando se hacen observaciones varias noches sucesivas. En algunos mapas se muestran sus trayectorias.

V.2.2 La prueba de la llama

Propósito

Conocer la composición química de una estrella a través del espectro que presenta.

Material

- Una lámpara de alcohol
- Un estuche con puntillas 0.7 m/m.
- Una pinza de depilar
- Un recipiente con agua

- **Substancias como:**
Cloruro de sodio, cloruro de potasio, cloruro de calcio y cloruro de litio.



Fig. V.13 Material para hacer la prueba de la llama

Desarrollo experimental

1. Enciende la lámpara de alcohol.
2. Sujeta la puntilla con las pinzas de depilar.
3. Moja la punta de la puntilla. Luego se meterá en uno de los polvos, asegurando que el polvo se le pegue.
4. Pon la puntilla que tiene el polvo en la flama de la lámpara de alcohol, hasta quemarse casi todo el polvo (figura V.14).
5. Observa el color que presenta con cada uno de los polvos.

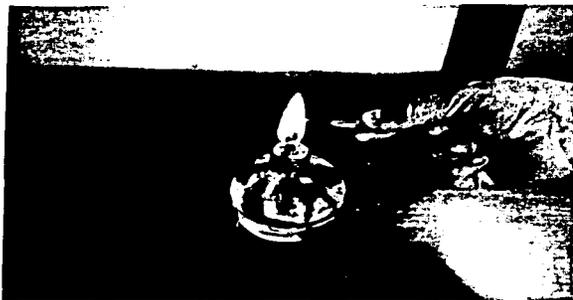


Fig. V.14 la prueba de la llama

Análisis

Mediante el análisis espectral de la luz se puede saber que casi todas las estrellas se componen de los mismos elementos. En su mayoría están formadas de hidrógeno en 80%, helio en un 18% y el otro 2% está constituido por el resto de los elementos químicos. Después del hidrógeno y el helio. Los elementos presentes en el Sol y las estrellas son el carbono, nitrógeno, oxígeno, magnesio, sodio, aluminio, silicio, azufre, potasio, calcio, hierro, etc.

Para las sales que se quemaron, el cloruro de sodio presenta una llama amarilla, el cloruro de potasio una llama violeta, el cloruro de calcio una llama anaranjada y el cloruro de litio una llama roja. Si se observara una estrella que presenta una coloración amarilla, podemos decir que contiene sodio, entre otros elementos.

V.2.3 El color de la piel

Propósito

Relacionar el cambio de color de una estrella como un indicador de la temperatura superficial.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Material

- Una puntilla de 0.7 m/m.
- Una pinza de depilar
- Una lámpara de alcohol



Fig. V.15 Material para el color de la piel

Desarrollo experimental

1. Prende la lámpara de alcohol
2. Sostén la puntilla con las pinzas
3. Coloca la puntilla sobre la llama, hasta que cambie de color (figura V.16).



Fig. V.16 El color de la piel

Análisis

Observa como la puntilla cambia de color hasta obtener un color rojo, con esto tenemos un medidor de temperatura, asociando el aumento de temperatura con color que va tomando la puntilla, inicialmente negro(cuando esta fria) al rojo (cuando esta caliente), es decir, si la puntilla esta roja no nos atrevemos a tocarla directamente con la mano, no necesitamos un termómetro para saber que esta caliente. Si continuamos calentando llegaría al azul que es más caliente que el rojo.

Las estrellas son de colores y para cada color involucra una temperatura superficial, por ejemplo, cuando presentan un color rojo se encuentran a una temperatura superficial de 3 000°, anaranjado de 5 000°, amarillo de 6 000°, blanco de 10 000° y azul de 40 000°. El color de la superficie indica a qué temperatura se encuentra una estrella.

V.2.4 La estrella David y la estrella Goliath

Propósito

Visualizar mediante un modelo que una estrella masiva parece más rápidamente que una estrella de menor masa

Material

- Una tapa metálica de un envase de refresco (pequeña)
- Una tapa metálica de una lata de leche (grande)
- Una jeringa de plástico de 3 ml
- Dos mililitros de alcohol
- Una caja de cerillos
- Una tabla de madera

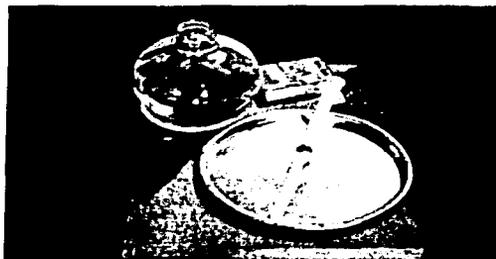


Fig. V.17 Material para la estrella David y Gohath

Desarrollo experimental

1. Pon 2 ml de alcohol en la jeringa.
2. Deposita 1 2 ml de alcohol en la tapa pequeña y el resto en la tapa grande (figura V.18).



Fig. V.18 Poniendo alcohol en las tapas

3. El alcohol que se encuentra en la tapa grande, debe extenderse en toda la superficie de la tapa.
4. Coloca ambas tapas sobre la tabla de madera
5. Enciende el alcohol de ambas tapas y observa lo que sucede (figura V.19).

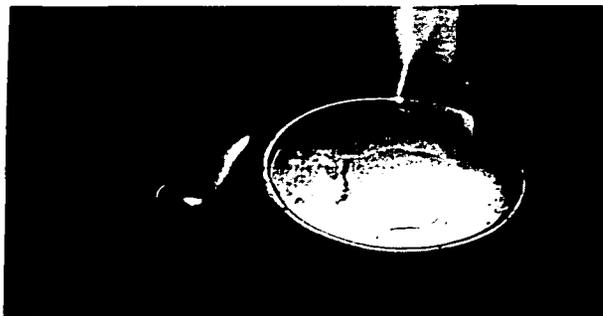


Fig V.19 La estrella David y la estrella Goliath

Análisis

El combustible de la tapa grande se quema más rápido que el de la tapa pequeña. Si pensamos en una estrella mediana de 0.6 a 8 masas solares, resulta que la estrella de masa grande tarda miles de millones de años en llegar a convertirse en enana blanca. Mientras que una estrella de masa pequeña tarda 100 mil millones de años en convertirse en enana blanca.

Imaginemos que la superficie de una estrella está integrada por una infinidad de plaquitas, todas a la misma temperatura y del mismo tamaño y por lo tanto radiando la misma cantidad de energía. Entre más plaquitas haya sobre la superficie de la estrella, más radiación emergerá de ella. El número de plaquitas que podemos acomodar depende del tamaño de la estrella, por lo tanto las estrellas masivas son en general de mayor tamaño y como consecuencia las reacciones termonucleares son mayores agotando rápidamente su combustible.

V.3 Observación con telescopio

Tenemos en los planteles de la E.N.P. telescopios de 15 cm de diámetro de tipo newtoniano (telescopio reflector), como el que se muestra en la figura V.20, son los telescopios que estamos construyendo (el proyecto consiste en 20 telescopios con montura Dobsoniana o Altazimut). Ahora que ya los tenemos, lo importante es mantenerlos desempolvados, que los cubra la luz de la Luna, que se pinten los planetas que recorren la eclíptica, que las estrellas titilen en la bóveda celeste y el Sol majestuoso reine en el día. Tenemos que aprender a usarlos.

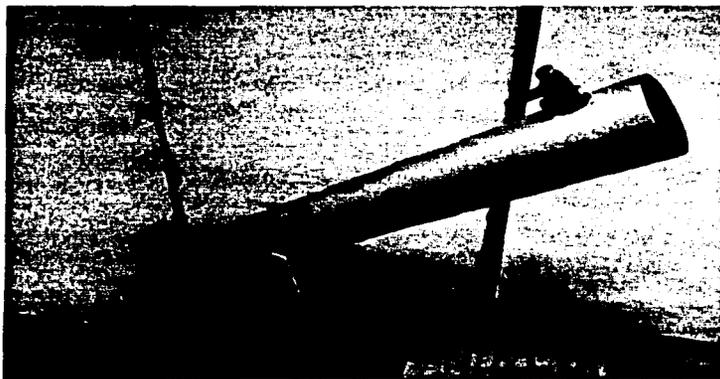


Fig. V.20. Telescopio construido en la E.N.P.

Quizás Galileo se nos adelantó y descubrió todo lo que había que descubrir... las montañas lunares, los cuatro satélites de Júpiter, las fases de Venus, el "cuerpo triple" de Saturno (no pudo distinguir claramente el anillo), las manchas solares, etc. Sin embargo nuestro telescopio es más potente que el de Galileo (telescopio refractor) y algo nuevo encontraremos en el cielo.

Queremos invitar a todos aquellos que tienen un telescopio para que conozcan las maravillas que hay en el cielo, y que para nuestros ojos, estamos ciegos. Te mostraremos algo de lo que puedes ver.

V.3.1 Filtro solar

Una forma segura de observar el Sol es usando un filtro solar, puedes construir uno de la siguiente manera:

Material

- Un tapón de PVC de 8"
- Papel ilustración
- Un compás
- Una navaja
- Papel de celofán amarillo o rojo
- Una hoja de acetato
- Una placa fotográfica de rayos X (siempre hay una en casa)
- Un foco de filamento de tungsteno de 100 watts (con cable y clavija)
- Pegamento amarillo
- Tres tornillos de 3 mm de espesor y 1/2" de largo (con tres tuercas y seis rondanas)
- Tres tiras de aluminio de 2 x 1 cm de lados
- Una broca de 3 mm de espesor
- Un taladro
- Un limatón

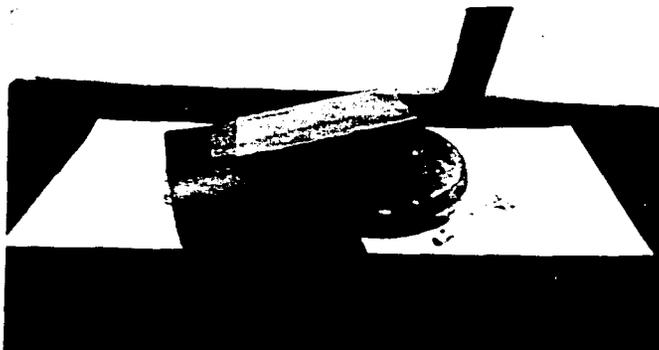


Fig. V.21 Material para construir el filtro solar

Para la montura del filtro solar

1. Dibuja un círculo de 6.2 cm de diámetro en el tapón de PVC, que esté a 2.5 cm de la orilla.
2. Con el taladro perfora muchos orificios alrededor del círculo dibujado y obtendrás un orificio del tamaño del círculo en el tapón de PVC.
3. Lija alrededor del orificio para que quede bien redondo.
4. Coloca las tiras de aluminio 1.5 cm del orificio procurando que queden equidistantes entre sí. Estas van atornilladas y sirven para sostener el filtro en el tapón (figura V.22 y V.23).

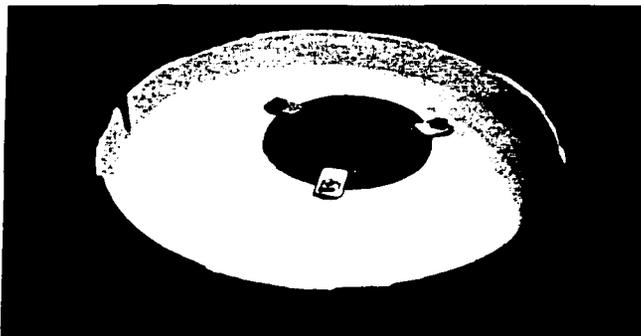


Fig. V.23 La parte interior del tapón con el filtro puesto

La prueba del filtro solar

1. Prende el foco
2. Observa el foco a través del filtro solar
3. Si lo único que alcanzas a observar es el filamento del foco, felicitades nuestro filtro es lo más seguro que te puedes imaginar (figura V.24).

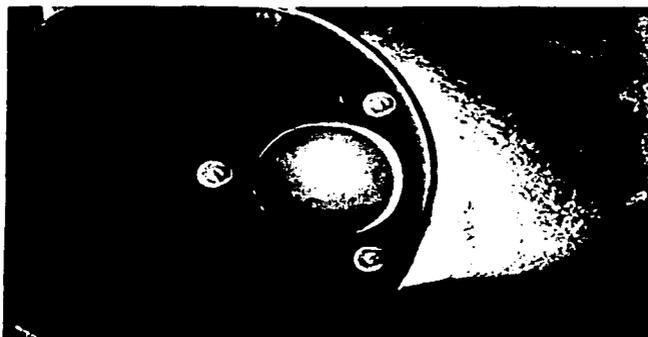


Fig. V.24 La prueba del filtro

Coloca el tapón en la entrada del telescopio ya con el filtro puesto, y todo listo para observar.

Con este filtro se pueden apreciar las manchas solares: tamaños, formas y cantidades. Las manchas solares son enormes regiones oscuras con tamaños entre 1 000 y 100 000 kilómetros (más de siete veces el diámetro de la Tierra) que rotan con el Sol y cuyo número aumenta y disminuye siguiendo un ciclo de aproximadamente 11 años.

PELIGRO: Nunca observes el Sol de manera directa sin protección, por ningún motivo.

V.3.2 Otros astros

Sabemos que a simple vista se pueden ver astros de magnitud 6, con el telescopio de 15 cm de diámetro se pueden ver astros de magnitud 12, es decir, 100 veces más débiles que los de magnitud 6. Esto quiere decir, que si apuntamos el telescopio a una región oscura, donde no se ve ninguna estrella, y observamos a través del telescopio, seguramente veremos muchos puntos brillantes.

Los astros que se pueden ver y que resultan un espectáculo para el ojo son:

1. La Luna
2. Mercurio
3. Venus
4. Marte
5. Júpiter
6. Saturno
7. Urano
8. Neptuno
9. Cometas
10. Meteoritos
11. Estrellas variables
12. Estrellas dobles
13. Cúmulos abiertos
14. Cúmulos globulares
15. Nebulosas planetarias
16. Nebulosas difusas
17. Galaxias

En el poco tiempo que llevo de observar el cielo, he visto: las manchas solares, los cráteres, mares y montañas de la Luna, las fases de Venus, el planeta rojo Marte (que por cierto no es tan rojo), los cuatro satélites y bandas oscuras de Júpiter, los anillos de Saturno (parece como un platillo volador), la nebulosa de Orión y estrellas.

Conclusión

Con estas actividades queremos mostrar a los profesores algunos experimentos que se pueden hacer en un laboratorio, con materiales que son fáciles de conseguir y de bajo costo. Observaciones que se pueden realizar en la azotea de un edificio de la escuela.

Con esto queremos lograr que los alumnos sepan dónde están las estrellas, reconocer algunas constelaciones, distinguir los diferentes tipos de estrellas y describir las características de las estrellas, entre otras cosas.

Consideramos no incluir en cada actividad una introducción, porque esta se encuentra en la parte teórica de este trabajo (Capítulos I, II, III y IV). Sin embargo, en el manual de prácticas de Astronomía sí se da una introducción teórica del tema.

Hay otras actividades que se podrían llevar a cabo en este tema de las estrellas, por ejemplo: medir el diámetro solar, calcular la constante solar, interferómetro (midiendo la distancia a una vela), etc., pero creemos que estas actividades ya son conocidas por los profesores, porque aparece en muchos libros. Sin embargo, están incluidas en el manual de prácticas de Astronomía.

CONCLUSIÓN FINAL

En el trabajo se planteó la problemática que tenemos los profesores que impartimos la materia de Astronomía básica en el nivel bachillerato. Nos encontramos con la necesidad de crear y producir los materiales didácticos: libro de texto y el manual de practicas, así como, material para practicas de laboratorio

El trabajo se estructuró en dos partes; la primera que corresponde a los capítulos I, II, III y IV, podrían dar origen a los apuntes o notas para el curso de Astronomía, por lo que se piensa que será el inicio de un libro ya sea las notas para los alumnos o el material de apoyo del profesor. Para la segunda parte que comprende el capítulo V, esta formado por actividades experimentales, que las hemos llamado actividades didácticas manuales y actividades didácticas fenomenológicas, estas actividades ya fueron incluidas en el manual de practicas de Astronomía; que muy pronto dará a conocer la Escuela Nacional Preparatoria (ENP), y actualmente se encuentra en proceso de editarse.

Las actividades experimentales tienen la característica de que sus materiales se pueden conseguir fácilmente y además el material es de bajo costo. Pero lo sorprendente de los materiales didácticos es que los alumnos desarrollan su creatividad al construirlos, al grado que superan en calidad a los prototipos que se les muestran a ellos.

El capítulo V es la parte innovadora de esta tesis. Se muestran materiales y actividades experimentales originales, queremos darles a los maestros cosas nuevas, algo diferente y que además, lo pueden usar en su trabajo docente. Tienen la garantía de que se pueden reproducir y funcionan para los propósitos de nuestro programa.

Otro condimento que consideramos importante, es la de incluir en el desarrollo histórico la ubicación geográfica que ocuparon las diferentes culturas en sus épocas de grandeza. En los libros de historia de la Física o de la Astronomía se olvidan de este detalle, pero además, también se olvidan que muchos de los profesores que estudiamos ciencias, vimos por

ultima vez un curso de geografía cuando estudiábamos la preparatoria, es decir, hace muchos años, lo cual nos lleva a suponer que no tenemos ni la más mínima idea de donde surgieron o vivieron determinadas culturas. Los mapas que aquí se presentan están en acetato, nuevamente para que los profesores puedan hacer uso de los materiales. Como ejemplo, de otra aplicación de los mapas, mencionare a Eratóstenes que demostró que la Tierra era redonda, basando sus observaciones desde dos ciudades como Alejandría y Siena, ahora en la figura 1.3 se puede apreciar la distancia o mejor dicho la lejanía que hay entre estas ciudades, así como también, se puede ver que casi están sobre el mismo meridiano, lo sorprendente de Eratóstenes es su medición con mucha precisión del radio de la Tierra. En fin, todo esto se puede visualizar con la ayuda de un mapa.

El trabajo que se presenta, puede ser útil en el curso de Astronomía básica a nivel bachillerato, por lo que no terminará arrumbado en una biblioteca o en el sótano de una facultad como muchas otras tesis. Nos atrevemos a afirmarlo, por que estos materiales se han presentado en encuentros sobre la enseñanza de la Astronomía, en seminarios de análisis de la enseñanza, en talleres de construcción de material didáctico y en conferencias en los diferentes eventos de la ENP, y lo que se puede ver es que los profesores aceptan con mucho entusiasmo estos materiales y están trabajando con sus alumnos en los diferentes planteles para su construcción.

El taller de construcción de telescopios en el plantel 6 "Antonio Caso", que esta a mi cargo, es otro de los proyectos que ha resultado ser un éxito, trabajan profesores de los diferentes planteles y alrededor de 20 alumnos que construyen su propio telescopio, asisten alumnos de los planteles 4, 5, 6 y 8 de la ENP. En los próximos meses se abrirá un taller de telescopios en el plantel 3 "Justo Sierra".

Algo que quedó pendiente, y que será tema de un proyecto de investigación o quizás de una maestría en enseñanza, es la parte de la evaluación de las actividades didácticas que se proponen. Todos sabemos que es un tema muy complicado y que lleva bastante tiempo el generar una herramienta de evaluación, por lo que queda abierto para algun colega que esté interesado.

Por supuesto, que no se pretende con este trabajo darle solución total a la compleja problemática de la enseñanza-aprendizaje de la Astronomía en la ENP, pero puede ser el comienzo de un trabajo que puede dar muchos frutos. Pensamos que el profesor de bachillerato encontrará en esto materiales didácticos que sirven para elevar la calidad de la enseñanza-aprendizaje.

APÉNDICE A

Programa de la materia de Astronomía.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL PREPARATORIA

I. DATOS DE IDENTIFICACIÓN

COLEGIOS DE: FÍSICA Y GEOGRAFÍA

PROGRAMA DE ESTUDIOS DE LA ASIGNATURA DE: ASTRONOMÍA, ÁREA I (FÍSICO-MATEMÁTICAS Y DE LAS INGENIERÍAS), ÁREA II (QUÍMICO-BIOLÓGICAS)

CLAVE

AÑO ESCOLAR EN QUE SE IMPARTE: 6o. año

CATEGORÍA DE LA ASIGNATURA: OPTATIVA

CARÁCTER DE LA ASIGNATURA: TEÓRICO

	TEÓRICO	PRACTICAS	TOTAL
No. de horas semanales	3	0	3
No. de horas anuales estimado	90	0	90
CREDITOS			12

2. PRESENTACIÓN

a) Ubicación de la materia en el plan de estudios

Esta asignatura está ubicada, dentro del plan de estudios, en el 6º año de bachillerato. Es una materia optativa de Área I (Físico-Matemáticas y de las Ingenierías) y del área II (Químico-Biológicas) y su carácter es teórico

b) Exposición de motivos y propósitos generales del curso

Por ser una materia optativa el curso de Astronomía ofrece una amplia gama de opciones para su impartición, además de contar con el apoyo de las asignaturas de Física y Matemáticas que los alumnos cursan en forma simultánea. La Astronomía es una aplicación de la Física a fenómenos espaciales, su carácter teórico-práctico fomenta la capacidad crítica, creativa y de razonamiento del alumno.

En el desarrollo del curso, los alumnos podrán aplicar conocimientos y habilidades adquiridos en las asignaturas de Geografía y Dibujo, así como de Física y Matemáticas, entre otras. Finalmente, el estudio de esta asignatura le ayudará a generar interés por estudiar una carrera científica.

Propósitos generales del curso

- 1) Mostrar un panorama general de la Astronomía a nivel básico para complementar la cultura científica del alumno.
- 2) Mostrar las interrelaciones que existen entre las diversas ciencias, en particular la Física, las Matemáticas, la Biología y la Astrofísica para adquirir una visión general de las ciencias y de sus métodos de trabajo
- 3) Desarrollar las habilidades psicomotrices de los alumnos mediante la construcción y uso de diversos instrumentos de observación, prototipos didácticos, modelos, maquetas, etc
- 4) Es muy importante destacar que en esta asignatura se pretende mostrar al alumno cómo el astrónomo construye su conocimiento

c) Características del curso o enfoque disciplinario.

En el diseño del programa del curso colaboraron investigadores del Instituto de Astronomía con un grupo de docentes de la Escuela Nacional Preparatoria.

Entre las características distintivas del curso de Astronomía se encuentran las siguientes:

- Este programa incluye acontecimientos recientes ocurridos en Astrofísica (cometas descubiertos en los últimos tiempos, sondas en funcionamiento), así como el uso de las últimas versiones de software educativo, programas de video, revistas y libros. Estará, además, sujeto a revisión continua, con el fin de hacer las observaciones necesarias al Consejo Académico de Bachillerato
- El curso se estructurará a partir de estrategias didácticas que implican gran participación de los alumnos: en la mayoría de los casos, los temas a tratar se apoyan en prototipos o modelos didácticos de bajo costo que los alumnos y los profesores manipulan en una continua interacción. Además de sociodramas, secuencias didácticas teórico experimentales, visitas guiadas, talleres de instrumentación, sesiones en el planetario, observaciones del cielo con telescopios y binoculares, teleconferencias, manejo de programas de Astronomía por computadora, acceso a la red por parte de profesores y alumnos

- Se realizará una serie de pláticas y talleres sobre Astronomía, para fomentar las capacidades creativas de los alumnos.
- Se espera que el profesor cubra la totalidad de los contenidos del programa con las adecuaciones pertinentes en la extensión, profundidad y orden de los temas en función de las características e intereses de los alumnos, sin interferir en su libertad de cátedra.

d) Principales relaciones con materias antecedentes, paralelas y consecuentes.

Tiene antecedentes directos con las siguientes asignaturas de cuarto año: con Física III, en la que se sustenta, además de retomar y ampliar los temas de Relatividad, espectros luminosos y algunos temas de Física Moderna que se tocan en la unidad 5; con Geografía encuentra apoyo en la unidad 2 en donde relaciona a la Tierra con el Sistema Solar; Matemáticas IV le da las bases para establecer modelos matemáticos sencillos; Informática da la preparación necesaria para obtener información de Internet así como manejar algunos paquetes de Astronomía; Lógica proporciona el sustento metodológico; Lengua Extranjera permite ampliar la información. De las materias de quinto año: Matemáticas V proporciona elementos de Geometría Plana y Analítica, de gran utilidad para esta asignatura; Biología III trata la evolución de la vida en la Tierra, un caso particular de la evolución del Universo. En sexto año se imparte en paralelo con Física IV que le sirve de soporte para la comprensión de los conceptos clave de la asignatura; Cálculo Diferencial e Integral amplía las bases matemáticas; Química IV da elementos para conocer la composición estelar y Dibujo Constructivo II ayuda a entender los mapas estelares y las proyecciones bidimensionales de la esfera celeste.

El contenido del programa está estructurado en seis unidades temáticas distribuidas de la siguiente manera:

Unidades

1.- *Historia de la Astronomía y Principios Básicos: 24 horas*

2.- *El Sistema Solar: 24 horas*

3.- *Las Estrellas: 12 horas*

4.- *La Vía Láctea y otras Galaxias: 15 horas*

5.- *Cosmología: 15 horas*

3 CONTENIDO DEL PROGRAMA

a) Primera Unidad: Historia de la Astronomía y Principios Básicos

b) Propósitos de la unidad

El alumno comprenderá cómo nuestros antepasados, al observar sistemáticamente el cielo con ayuda de instrumentos sencillos, descubrieron regularidades que les permitieron elaborar modelos para explicar los fenómenos observados y predecir nuevos hechos. Describirá las posiciones y los movimientos de los cuerpos celestes así como los instrumentos empleados en la actualidad para medir y registrar las características de los cuerpos celestes.

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDACTICAS SUGERIDAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA
24	1.1 Presentación del curso	- Informar al alumno los temas, objetivos, forma de trabajo y metodología de evaluación del curso	- El profesor plantea los objetivos del curso y proporciona una visión general del programa	Básica: I
	1.2. Astronomía antigua	- Comprender la manera en que los astrónomos utilizaron la ubicación de los cuerpos celestes para la conformación de sus calendarios	- El alumno revisa algunas culturas antiguas - incluyendo las mesoamericanas- que basaron sus actividades agrícolas en función de los ciclos estelares y analiza comparativamente diferentes culturas	Complementaria los demás títulos
	1.3 Bases de la Astronomía moderna	- Ilustrar el trabajo de los iniciadores de la Astronomía moderna: Galileo, Huygens, Einstein, Hubble, Jansky, Kepler y otros	- El alumno realiza una investigación monográfica acerca de diversos científicos (y sus aportaciones) que contribuyeron al desarrollo de la Astronomía moderna	
	1.4 Instrumentos de observación	- Comprender el funcionamiento de los telescopios reflectores y refractores, binoculares, astrolabios, sextantes, GPS (Global Position Satellite), radiotelescopios, telescopios a bordo de satélites (óptico, radio, rayos X, rayos γ, UV e infrarrojo)	- El alumno revisa los conceptos de reflexión y refracción de la luz, así como la formación de imágenes en lentes - El profesor revisa y explica el funcionamiento de diversos instrumentos útiles para realizar observaciones y analizar la información obtenida	

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCION DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDACTICAS SUGERIDAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA
	1.5. Descripción de posiciones y movimientos de los cuerpos celestes	<ul style="list-style-type: none"> - Ilustrar los movimientos aparentes de los astros en el cielo - Mostrar el movimiento del Sol, la esfericidad de la Tierra, las fases de la Luna, las estaciones y los eclipses de Sol y de Luna 	<ul style="list-style-type: none"> - El alumno, con ayuda del profesor, analiza fotografías de distintas porciones del cielo y, mediante una discusión grupal, obtienen conclusiones sobre la posición, distribución, etc. de las constelaciones, estrellas, el Sol y la Luna - El alumno identifica algunas de las estrellas y/o planetas más brillantes - El alumno observa cómo se mueve el Sol a lo largo del año y describe el corrimiento del punto sobre el horizonte donde sale el Sol - El alumno determina los días en que se presentan los solsticios y equinoccios - El alumno construye un reloj solar - El alumno con modelos didácticos, complementados con transparencias, simula los siguientes fenómenos: <ul style="list-style-type: none"> a) los movimientos en la bóveda celeste, del Sol y de la Luna b) la medición de la redondez de la Tierra, como lo hizo Eratóstenes c) las fases de la Luna d) las estaciones de la Tierra e) los eclipses de Sol y de Luna - El profesor proyecta la película "Eclipse de luna" y junto con los alumnos, analizan su contenido y lo comparan con la teoría 	<p>Básica: 1</p> <p>Complementaria los demás títulos</p>

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCION DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDACTICAS SELECCIONADAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA
	1.6.-Astronomía y Astrología	- Establecer las diferencias entre la Astronomía y la Astrología.	- El alumno hace acopio de información sobre las predicciones astrológicas publicadas en diarios y revistas y discute grupalmente su validez científica comparándola con las predicciones astronómicas	Básica: 1 Complementaria los demás títulos

c) Bibliografía

- 1 - Maza, José, *Astronomía Contemporánea*. Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile 1990
- 2 - Fierro, J., *Cómo Acercarse a la Astronomía*, Limusa Ed. 1991
- 3 - Moreno, Corral, Marco Arturo. *Historia de la Astronomía en México*, #4, FCE.
- 4 - Zeta Multimedia, *Enciclopedia del espacio y el universo*
- 5 - Revista Sky and Telescope
- 6 - Película: Los astrónomos

a) Segunda Unidad: El Sistema Solar

b) Propósitos de la unidad

El alumno comprenderá las similitudes y diferencias entre la Tierra y los demás planetas del Sistema Solar. Conocerá las dimensiones y características del Sistema Solar, la importancia que el Sol tiene para nosotros y la singularidad de nuestro planeta por tener vida, así como la necesidad de preservar nuestro entorno

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS SUGERIDAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFÍA
24	2.1. El Sol	<ul style="list-style-type: none"> - Describir las características generales del Sol - Describir algunas características del Sol como fuente de energía. - Describir algunas características de su estructura interna y capas atmosféricas 	<ul style="list-style-type: none"> - El alumno calcula el diámetro del Sol, suponiendo conocidos el ángulo que subtende y la distancia a la que se encuentra de la Tierra - A partir de una tabla de datos, el alumno compara la masa del Sol con las masas de los planetas del Sistema Solar - El alumno aprende a usar el programa de multimedia "SUN" - El alumno determina experimentalmente el valor promedio de la potencia solar por unidad de área (irradiancia) mediante un bote con agua que se expone al Sol aproximadamente 10 minutos - Comparando diversas fuentes de energía, el alumno encuentra que la fusión nuclear es el proceso más adecuado para explicar la enorme producción de energía en el Sol - El alumno observa (mediante fotografías obtenidas de Internet) y describe las características de la fotosfera, cromosfera y corona solar 	<p>Básica: I Complementaria los demás títulos</p>

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDACTICAS SUGERIDAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA
	2.2 Actividad solar	<ul style="list-style-type: none"> - Describir las características del ciclo solar - Describir el campo magnético del Sol 	<ul style="list-style-type: none"> - El alumno observa de manera indirecta las manchas solares con la supervisión del profesor - El alumno, con ayuda del profesor, construye y analiza los diagramas de mariposa - El profesor muestra experimentalmente la ley de inducción de Faraday - El alumno elabora un modelo del campo magnético solar - El alumno analiza e infiere que algunas características del Sol dependen del ciclo solar 	<p>Básica: Complementaria los demás títulos</p>
	2.3.-Origen del Sol.	<ul style="list-style-type: none"> - Explicar la Ley de Gravitación Universal - Explicar las teorías relativas al nacimiento del Sol 	<ul style="list-style-type: none"> - El profesor hace una revisión de la Ley de Gravitación Universal - El profesor modera la discusión de las diversas teorías que explican el origen del Sol, investigadas previamente 	
	2.4 La Luna	<ul style="list-style-type: none"> - Explicar los efectos de la atracción lunar sobre la Tierra - Describir los movimientos de la Luna - Describir la conquista lunar y sus antecedentes 	<ul style="list-style-type: none"> - El alumno explica el origen de las mareas y sus consecuencias - A partir de la Ley de Gravitación Universal, el alumno describe los movimientos lunares - El alumno hace una investigación documental de la conquista lunar 	

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDACTICAS SUGERIDAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA
171	2.5 Planetas interiores y planetas exteriores, cometas y cuerpos menores	<ul style="list-style-type: none"> - Explicar las leyes de Kepler - Explicar las similitudes y diferencias entre la Tierra y los demás planetas, asteroides y cometas del Sistema Solar 	<ul style="list-style-type: none"> - El alumno hace una gráfica en papel log-log de los periodos de los planetas y sus distancias al Sol, para obtener en forma empírica la tercera ley de Kepler - A partir de las leyes de Newton y la de gravitación universal el profesor deduce la primera y segunda leyes de Kepler - El alumno obtiene experimentalmente, con el dispositivo de fuerza centrípeta, la relación entre la fuerza de atracción, la velocidad del cuerpo que gira y su distancia al centro de atracción - El profesor ilustra, con transparencias y video, las características de los planetas, satélites, asteroides y cometas - El alumno observa -con un telescopio o binoculares- la Luna, los planetas y en particular, las fases de Venus, los satélites de Júpiter y los anillos de Saturno - El alumno revisa el movimiento de Marte y explica la importancia de este planeta para nosotros 	<p>Básica: I Complementaria los demás títulos</p>

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDACTICAS SUGERIDAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA
	<p>2.6.- Medio interplanetario</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Explicar el descubrimiento de los planetas más alejados - Explicar cómo se hace actualmente la exploración del Sistema Solar - Comprender que el medio interplanetario no está vacío, sino lleno de plasma magnetizado que fluye a gran velocidad en donde ocurre una gran cantidad de fenómenos físicos - Explicar el concepto de heliosfera - Explicar el campo magnético interplanetario - Explicar las magnetosferas e ionosfera planetarias 	<ul style="list-style-type: none"> - El alumno construye un modelo de cometa con hielo seco, agua, tierra y material orgánico y busca información acerca del tema en la red Internet - El alumno realiza lecturas sobre Urano, Neptuno y Plutón - El alumno busca información sobre sondas espaciales y los datos obtenidos por éstas - Los alumnos describen el llamado cuarto estado de la materia - El profesor hace una revisión histórica de cómo se llegó a proponer la existencia del viento solar - El profesor muestra que existe interacción entre el medio interplanetario y algunos de los planetas - El alumno utiliza la red Internet para conocer las características magnetosféricas e ionosféricas de diversos planetas - El alumno realiza maquetas y/o dibujos que representen las imágenes magnetosféricas de los diversos planetas - El alumno entiende la importancia que tiene el campo magnético terrestre para la protección en nuestro planeta 	<p>Básica: I Complementaria los demás títulos</p>

c) Bibliografía

- 1.- Maza, José, *Astronomía Contemporánea*. Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile 1990
- 2.- Fierro, Julieta y Herrera, Miguel Angel. *La familia del Sol*, #62, FCE
- 3.- Valdés, José Francisco. *Nuestro hogar en el espacio*, #66, FCE
- 4.- Gall, Ruth. *Las actividades espaciales en México. Una revisión crítica*, #20, FCE
- 5.- Otaola, Javier, Mendoza Blanca. *El Sol y la Tierra. Una relación tormentosa*, #114, FCE
- 6.- Zeta Multimedia, Enciclopedia del espacio y el universo
- 7.- Microsoft, Enciclopedia Encarta 2000
- 8.- Atlas de astronomía en multimedia
- 9.- Cuadernos del Instituto de Geofísica: Marte, el planeta guerrero
- 10.- Revista Astronomy
- 11.- Revista Sky and Telescope
- 12.- Película: Eclipse de luna
- 13.- Película: Sol, luna y estrellas

	CONTENIDO	DESCRIPCION DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDACTICAS SUGERIDAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA
	3.4. Movimiento de las estrellas	- Comprender el efecto Doppler, y su relación con el movimiento de las estrellas	<ul style="list-style-type: none"> - El alumno hace modelos para explicar hoyos negros y agujeros de gusano - El alumno revisa y compara el espectro de varios objetos estelares - El alumno muestra el efecto Doppler haciendo girar un despertador en funcionamiento para apreciar el cambio de tono cuando el despertador invierte su movimiento en relación con los que escuchan y cualitativamente obtiene una relación entre la longitud de una onda y su frecuencia - Mediante el análisis de algunos espectros de estrellas, el alumno interpreta que éstas se mueven 	
	3.5. El Sol como estrella	<ul style="list-style-type: none"> - Comprender que el Sol es una más de las estrellas - Explicar la evolución experimentada por el Sol 	<ul style="list-style-type: none"> - El alumno clasifica al Sol de acuerdo a su masa, luminosidad, tamaño y temperatura - El alumno analiza la información anterior y saca conclusiones sobre el destino final de nuestra estrella 	

e) Bibliografía

- 1.- Maza, José. *Astronomía Contemporánea*. Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile 1990
- 2.- Bravo, Silvia. *Encuentro con una estrella*, #38, FCE
- 3.- Echeverría, Juan. *Estrellas binarias interactivas*, #49, FCE
- 4.- Bohigas, Joaquín. *Génesis y transfiguración de las estrellas*, #89, FCE
- 5.- Malacara, H Daniel y Malacara, Juan Manuel. *Telescopios y estrellas*, #57, FCE
- 6.- Zeta Multimedia, Enciclopedia del espacio y el universo

- 8 - Atlas de astronomía en multimedia
- 9 - Paquete de multimedia: Star Finder
- 10 - Paquete de multimedia: Sun
- 11 - Revista Astronomy
- 12 - Revista Sky and Telescope
- 13 - Película: Sol, luna y estrellas
- 14 - Película: Hoyos negros
- 15 - Películas: Serie Discovery Channel

a) Cuarta Unidad: La Vía Láctea y otras Galaxias

b) Propósitos de la unidad

El alumno adquirirá una visión panorámica de los enormes conglomerados estelares, de las variedades de galaxias, de cómo las galaxias forman cúmulos, de nuestra ubicación en la Vía Láctea, además conocerá las propiedades de nuestro conglomerado estelar, su estructura y evolución.

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS-DIDACTICAS-SUGERIDAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA
15	4.1 La Vía Láctea	<ul style="list-style-type: none"> - Comprender que las estrellas se agrupan para formar galaxias - Comprender la estructura y evolución de la Vía Láctea - Identificar cuál es el lugar del Sol en la Vía Láctea - Explicar los movimientos relativos del Sol respecto a la Vía Láctea 	<ul style="list-style-type: none"> - El alumno localiza la Vía Láctea por medio de fotografías u observación directa - El alumno elabora un modelo de rotación diferencial para explicar la formación de los brazos en espiral de la Vía Láctea - El alumno construye un modelo físico de la Vía Láctea y localiza en ella nuestro Sol - El profesor proyecta la película "Sol, luna y estrellas" y junto con los alumnos analizan su contenido y hacen una comparación con la teoría 	<p>Básica: I Complementaria los demás títulos</p>
	4.2 Galaxias	<ul style="list-style-type: none"> - Describir el origen y evolución de las galaxias - Investigar las características y la clasificación de las galaxias 	<ul style="list-style-type: none"> - El alumno realiza una investigación documental sobre el origen de las galaxias - El alumno construye modelos de los diferentes tipos de galaxias 	
	4.3 Cúmulos y asociaciones.	<ul style="list-style-type: none"> - Explicar que las galaxias forman cúmulos y que posiblemente tengan relación con su origen 	<ul style="list-style-type: none"> - El alumno, con ayuda del profesor, revisa el material de multimedia Astronomy y el Atlas de Astronomía 	

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDACTICAS SUGERIDAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA
	4.4. Radiogalaxias	- Explicar los métodos usados para calcular las distancias a estrellas, cúmulos y galaxias - Enumerar las características de las radiogalaxias y sus diferencias con las galaxias.	- El profesor explica el papel de las Cefeidas en la determinación de distancias extragalácticas - El alumno usa el método de paralaje para calcular la distancia a alguna estrella - El alumno averigua los nombres de las radiogalaxias próximas a nuestro sistema y consulta cuadros comparativos	
	4.5. Quásares	- Explicar el origen de los quásares y sus características	- El alumno hace investigación documental sobre el origen y evolución de los quásares	
	4.6. Púlsares	- Establecer la diferencia entre un púlsar y otros quásares en el Universo	- El alumno busca información en la red Internet acerca de los quásares y púlsares	
	4.7. Rayos Cósmicos	- Explicar qué son los rayos cósmicos. - Comentar el descubrimiento de los rayos cósmicos - Explicar el origen de los rayos cósmicos	- El alumno, con ayuda del profesor, visualiza las trazas de rayos cósmicos en una cámara de niebla de hielo seco - El alumno, con ayuda del profesor, discute grupalmente la película "Rayos cósmicos"	

c) Bibliografía

- 1- Maza, José. *Astronomía Contemporánea*. Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile 1990
- 2- Dultzin, Deborah. *Quásares en los confines del universo*, #53, FCE
- 3- Otaola, Javier Valdez, Galicia, José F. *Los rayos cósmicos. Mensajeros de las estrellas*, #108, FCE
- 4- Bravo, Silvia. *Plasmas en todas partes*, #126, FCE
- 6- Microsoft, Enciclopedia Encarta 2000
- 7- Facultad de Ciencias UNAM Revista Ciencias
- 8- Revista Astronomy
- 9- Películas. Serie Cosmos
- 10- Películas. Serie Discovery Channel

a) Quinta Unidad: Cosmología

b) Propósitos de la unidad

El alumno adquirirá una visión global sobre el origen y la expansión del Universo que le permita discriminar la información que reciba sobre estos temas y que valore la aventura intelectual del hombre en búsqueda del origen propio y de todo lo que lo rodea.

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS SUGERIDAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA
15	5.1 La expansión del Universo	<ul style="list-style-type: none"> - Describir las principales evidencias que fundamentan la expansión del Universo - Describir algunas teorías sobre la expansión del Universo 	<ul style="list-style-type: none"> - El profesor construye un modelo de expansión del Universo con ligas de un metro y pinzas para ropa determinando previamente la constante de expansión y eligiendo una galaxia de referencia - Los alumnos discuten grupalmente bajo la guía del profesor la información disponible para explicar la oscuridad de la noche - El profesor proyecta la película "El misterio de la gran explosión" y junto con los alumnos analizan su contenido y lo comparan con la teoría 	Básica: Complementaria los demás títulos
	5.2 Modelos del Universo	<ul style="list-style-type: none"> - Conocer las diversas concepciones sobre el nacimiento y la evolución del Universo 	<ul style="list-style-type: none"> - El profesor comenta las diversas concepciones sobre el nacimiento y evolución del universo - El profesor explica la teoría de la Gran Explosión - El alumno lee y discute el libro de Gamow sobre los tres primeros minutos del universo - El profesor proyecta el videoprograma de Sagan "El año cósmico" y discute en grupo los tiempos involucrados desde la Gran Explosión, comparándolos con la aparición de la vida y de los primeros homínidos 	

- 8.- Zeta Multimedia, Enciclopedia del espacio y el universo
- 9.- Microsoft, Enciclopedia Encarta 2000
- 10.- Facultad de Ciencias UNAM Revista Ciencias
- 11.- Revista Astronomy
- 12.- Película, El misterio de la gran explosión
- 13.- Película: Catástrofes cósmicas

NOTA: El material didáctico, prototipos, revistas, libros, videoprogramas, acetatos, transparencias, etc. citados en este programa se encuentran en la gaveta de Astronomía de cada plantel.

4. BIBLIOGRAFIA GENERAL.

- 1.- Maza, José, *Astronomía Contemporánea*, Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 1990
- 2.- Morrison and Fracknoi, *Abell's Exploration of the Universe*, USA, 1988
- 3.- Steven Weinberg *Gravitation and cosmology*, John Wiley and Sons, 1972
- 4.- Fierro, J., *Cómo Acercarse a la Astronomía*, Limusa Eds., 1991
- 5.- Fierro, J., *Los Mundos Cercanos*, Mc Graw-Hill, 1997
- 6.- Fierro, J., *Las estrellas*, Mc Graw-Hill, 1999
- 7.- Herrera M., *Vida Extraterrestre*, Mc Graw-Hill, 1999
- 8.- Herrera, M.A., Fierro, J., *El Cometa Hale -Bopp*, Síntesis, 1997
- 9.- Gamow, George, *Los tres primeros minutos del Universo*.
- 10.- Frank H. Shu, *The Physical Universe and an Introduction to Astronomy*, University Science Books, Sausalito, Cal, 1981
- 11.- Fierro, J., *El Universo*, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, México, 1997

De la colección "la ciencia para todos", se incluyen los libros relacionados con la Astronomía y la Astrofísica

- 1.- Rodríguez, Luis Felipe *Un Universo en expansión*
- 4.- Moreno Corral, Marco Arturo, *Historia de la Astronomía en México*
- 6.- Haeyan, Shahen *El descubrimiento del universo*
- 10.- Rius de Riepen, Magdalena y Castro-Acuña, Mauricio, *La Química hacia la conquista del Sol*
- 15.- Moreno Corral, Marco Arturo, *Odisea 1874 o el primer suaje internacional de científicos mexicanos*
- 19.- Braun, Eliezer *Una gaveta desconocida de Einstein*

- 20 Gall, Ruth. *Las actividades espaciales en México. Una revisión crítica*
- 32 Cetto, Ana María. *La luz*
- 38 Bravo, Silvia. *Encuentro con una estrella*
- 49 Tcheverría, Juan. *Estrellas binarias interactivas*
- 50 Hacyan, Shahen. *Los hoyos negros y la curvatura del espacio tiempo*
- 53 Dultzin, Deborah. *Cuicacares en los confines del universo*
- 57 Malacara, Daniel y Malacara, Juan Manuel. *Telescopios y estrellas*
- 62 Fierro, Julieta y Herrera, Miguel Ángel. *La familia del Sol*
- 66 Valdés, José Francisco. *Nuestro hogar en el espacio*
- 74 Espindola, Juan Manuel. *El Tercer Planeta. Edad, estructura y composición de la Tierra*
- 77 Bracho, Javier. *En qué espacio vivimos?*
- 89 Bohigas, Joaquín. *Génesis y transfiguración de las estrellas*
- 103 Sarmiento, Antonio. *El fantasma cuyo andar deja huella. La evolución del tiempo*
- 108 Otaola, Javier y Valdez Galicia, José F. *Los rayos cósmicos. Mensajeros de las estrellas*
- 114 Otaola, Javier y Mendoza, Blanca. *El Sol y la Tierra. Una relación tormentosa*
- 119 Tonda, Juan. *El oro solar y otras fuentes de energía*
- 126 Bravo, Silvia. *Plasmas en todas partes*
- 128 Ripa Pedro, *La increíble historia de la malentendida fuerza de Coriolis*
- 129 Hacyan, Shahen. *Del mundo cuántico al universo en expansión*
- 155 Moreno Corral, M.A. *La morada cósmica del hombre*

Colección Salvat

- 1 Paul Davis. *El Universo desconocido*
- 4 Paul Davis. *Superfuerza*
- 28 Paul Davis. *Otros mundos*
- 31 Paul Davis. *El momento de la creación*
- 51 Arthur Koestler. *Los sonámbulos I*
- 52 Arthur Koestler. *Los sonámbulos II*
- 54 Peter W. Atkins. *La creación*
- 78 Rudolf Kippenhahn. *Luz en el Confín del Universo*

REVISTAS

Ciencias (Facultad de Ciencias (INAM))

Ciencia y Desarrollo

Mundo Científico (Traducción de La Recherche)

Astronomy

Sky and Telescope

¿Cómo ves?

Skylab

Cuadernos del Instituto de Geofísica: Marte, el planeta guerrero

Orión

COLECCIÓN DE PELÍCULAS

Eclipse de luna

Sol, luna y estrellas

El misterio de la gran explosión

Contacto

Hoyos negros

Polvo de estrellas

Los astrónomos

Serie Cosmos

Serie Discovery Channel

Catástrofes cósmicas

Una ventana hacia la creación

Explorando planetas

Ondas del futuro

COLECCIÓN DE MULTIMEDIA Y PROGRAMAS DE CÓMPUTO

Sun

Astronomy

Star Finder

Enciclopedia Encarta 2000 (Microsoft)

Atlas de astronomía

Enciclopedia del espacio y el universo (Zeta Multimedia)

ALGUNAS DIRECCIONES EN INTERNET

<http://www.zafiro.dpsca.unam.mx/8080/infocomet.html>
<http://www.astroci.unam.mx/luperastro/cometas/cometas.html>
<http://www.nautilus.fis.uc.pt/astro/texto4.htm> (tópicos para observadores de cometas)
<http://www.inaoep>
<http://www.ina.br/galeria/comet/comet.html>
<http://www.fisica.edu.uy/oa/m3/kry/bus/ry.html>
<http://www.saunderscollege.com/astro/pasachoff/chapter17.html> (Halley and others comets)
http://www.fourmilab.ch/our/sky/catalogs/periodic_comets.html
<http://www.earth.agu.org/rev/geophys/nagy01/node64.html>
<http://www.astronomy.net/>
<http://hawastoc.org/solar/span/toc.htm>
<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/mesur.html>
<http://www.spaceart.com/solar/eng/toc.htm>
[http://dir.lycos.com/Science/Technology/Space/Satellite and Mission Index/Interplanetary Missions](http://dir.lycos.com/Science/Technology/Space/Satellite%20and%20Mission%20Index/Interplanetary%20Missions)
<http://www.reva.net/nasa/xlife-intro.htm>
<http://www.teston.com/astro/index.html>
<http://physics.gac.edu/chuck/planets.htm>
<http://www.obspm.fr/encycl/encycl.html>
<http://www.planetarybiology.com/>
<http://www.physics.sfu.edu/gmarcy/planetsearch/planetsearch.html>
<http://directory.netscape.com/Science/Astronomy/Images>
<http://chabot.cosc.org/art/kepler/newton/Aplple.htm>
<http://www.kingsu.ab.ca/brian/astro/newt.htm>
[http://www.Royal Greenwich Observatory](http://www.RoyalGreenwichObservatory)
<http://www.adnet.com.mx/scripts/adnet.cfm?bi=1>
<http://www.astro.ucla.edu/wright/cosmology-faq.html>
<http://www.damp.cam.ac.uk/user/gr/public/cos-home.html>
<http://physweb.fbi.gov/holtmann/cosmo/index.html>
<http://super.colorado.edu/michael/lambda.html>
<http://www.phys.hawaii.edu/sjs/www/cosmo.htm>

5. PROPUESTA GENERAL DE ACREDITACIÓN

a) Actividades o factores

- Presentación escrita de las investigaciones documentales. Resúmenes de libros de divulgación y artículos de revistas.
- Discusión y análisis de las presentaciones de investigaciones documentales.
- Informe de las actividades extra-aula: manejo de telescopios, visitas a museos, participación en conferencias, seminarios y presentación de películas.
- Soluciones a cuestionarios y problemas o exámenes.
- Ensayos para contestar de manera independiente a diferentes situaciones planteadas en clase, así como sus correspondientes preguntas generadoras.
- Construcción de modelos y prototipos.
- Elaboración de cuestionarios y problemas, a partir del análisis y discusión de sus notas.
- Desarrollar y concretar proyectos de investigación.
- Guía (Informes) de actividades experimentales realizadas dentro y fuera del aula así como demostraciones encaminadas a establecer la validez de los modelos elaborados.

b) Carácter de la actividad

Estas actividades son teórico-prácticas por lo que algunas se podrán manejar de manera individual, otras en equipo y algunas otras como actividades de grupo

c) Periodicidad.

Las actividades prácticas se realizarán como mínimo una vez a la semana.

d) Porcentaje sobre la calificación sugerido.

Exámenes parciales y actividades de tipo teórico 70%

Trabajos extraclase 30%

6. PERFIL DEL ALUMNO EGRESADO DE LA ASIGNATURA

La asignatura de Astronomía contribuye al perfil del egresado cuando el alumno:

- Desarrolla su capacidad de interacción y diálogo por medio del trabajo en equipo y de la discusión grupal con sus compañeros y con el profesor.
- Desarrolla una cultura científica tomando conciencia de la forma en que avanza la Astronomía por medio de las predicciones que se deducen de sus modelos, del rango de validez de los mismos (fuera del cual resultan inadecuados) y de la importancia de contrastar la actividad experimental de las predicciones de un modelo para validarlo, modificarlo o rechazarlo
- Traduce su cultura en actividades cotidianas reconociendo a la metodología de la ciencia como un camino seguro para la comprensión de los fenómenos naturales y cuestiona supersticiones, prácticas mágicas y explicaciones sobrenaturales.
- Incrementa su confianza por la elección del área de formación preprofesional y desarrolla intereses profesionales por las carreras incluidas en ella.

7. PERFIL DEL DOCENTE

Características profesionales y académicas que deben reunir los profesores de la asignatura

Este curso está diseñado para ser impartido por profesionales egresados de la UNAM y que pertenezcan a los colegios de Física o Geografía, siempre y cuando se actualicen por medio del diplomado en Astronomía o diversos cursos que ofrece periódicamente el Instituto de Astronomía en un periodo no mayor de dos años, y cumpla con los requisitos establecidos por el Estatuto del Personal Académico (EPA) y por el Sistema de Desarrollo del Personal Académico (SIDEPA) de la Escuela Nacional Preparatoria.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

APÉNDICE B

Proyecto PAPIME.

La enseñanza de la Astronomía: Una estrategia de aprendizaje de las ciencias.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PROYECTO PAPIME

Título

La enseñanza de la Astronomía en el Bachillerato: Una estrategia de aprendizaje de las Ciencias.

Planteamiento y justificación

En unos días mas culminará una etapa del proceso iniciado en 1996 con las reformas al Plan y programas de estudio de la ENP por el Consejo Académico de Bachillerato y, de esta manera, la asignatura de Cosmografía, que desde hace mas de treinta años está a cargo del Colegio de Geografía y hace mas de cien se imparte en la ENP, pasará oficialmente al Colegio de Física, cambiando su denominación por la de Astronomía. Esta nueva materia, optativa en 6° año, con tres horas de clase por semana y 90 horas en total comenzará a impartirse el próximo ciclo escolar –a partir de agosto de 1999-. En esta etapa de preparación para el inicio de los cursos en los nueve planteles se ha diseñado un plan de actividades que dé respuesta a esta necesidad del bachillerato, nacida de la reestructuración curricular. Dicho plan se ha puesto en marcha con las siguientes acciones:

A) El 13 de febrero pasado dio comienzo el Diplomado de Astronomía, con la participación de 45 docentes de la Nacional Preparatoria y del CCH, donde se capacitan los profesores de la nueva asignatura. Este diplomado tendrá una duración de 180 horas y terminará en noviembre de 1999.

B) Un grupo integrado por docentes de la ENP e investigadores del Instituto de Astronomía está elaborando un programa de la asignatura para que a fines de marzo se difunda en el Colegio de Física para su discusión y modificación y, eventualmente, se presente en el Consejo Técnico para su aprobación.

Queremos que la nueva materia se ofrezca en las mejores condiciones por lo que es necesario:

- Contar en cada plantel con un salón –por lo menos- acondicionado para impartir este curso
- Diseñar estrategias didácticas que propicien la participación de los alumnos. Los profesores participantes en el diplomado, con la valiosa asesoría de los investigadores del Instituto de Astronomía, serán los que concreten las propuestas metodológicas para el curso
- El empleo de material audiovisual reciente: videoprogramas, y películas, software para computadora, acceso a Internet, libros y revistas actuales y la elaboración de materiales didácticos de bajo costo para los alumnos
- Visitas guiadas a museos, observatorios, planetarios, zonas arqueológicas, etc.
- La adquisición de material y equipo necesario para el curso: telescopios, modelos de esferas celestes, etc., por medio de este proyecto PAPIME.

Hasta el momento las dependencias que están colaborando en las distintas fases de este proyecto son: el Instituto de Astronomía, Instituto de Geofísica, Instituto de Física, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Centro de Instrumentos, Facultad de Ciencias y Facultad de Ingeniería, los nueve planteles de la ENP y 3 planteles del Colegio de Ciencias y Humanidades (Vallejo, Azcapotzalco y Naucalpan), con el cual compartimos algunos temas sobre la enseñanza de la Astronomía, aunque estos últimos no tienen esta asignatura propiamente establecida sino que cubren algunos temas relacionados en sus programas.

La población beneficiada está compuesta, en primera instancia, por los alumnos de sexto año de los nueve planteles que cursen Astronomía como materia optativa: alrededor de 600 estudiantes, en números redondos, para el primer año y esperamos, que este número se incremente en los siguientes. Es importante destacar que también resultan beneficiados los alumnos de Física III, 4º año (15 000 aproximadamente) ya que una parte de los temas de Física Moderna (unidad 5 del programa) pueden cubrirse con el material y equipo solicitado aquí.

Si los requerimientos anteriores se cumplen, el Colegio de Física estaría en condiciones de ofrecer un curso de Astronomía incorporando los más recientes avances, resultando atractivo para los estudiantes, que vaya mucho más allá de un curso teórico de gis y pizarrón y sea acorde con las propuestas metodológicas contenidas en los nuevos programas.

Por otro lado sabemos que un buen número de los aspirantes a la carrera de Física la escogen porque desean dedicarse a la Astronomía. En consecuencia, la inclusión de este curso en el mapa curricular de la ENP es una excelente oportunidad de incrementar sustancialmente -a mediano plazo- la matrícula de los alumnos interesados en estudiar Física o Ingeniería.

En el diplomado de Astronomía se está dando una gran interacción entre los profesores de bachillerato e investigadores del Instituto de Astronomía y otros Institutos, estudiando nuevos temas, actualizando los que ya se tienen, ensayando nuevas estrategias de enseñanza con la elaboración de prototipos y modelos.

La duración de este proyecto será de 3 años para permitir a los profesores probar todas las estrategias didácticas, mejorarlas y dar tiempo para su revisión y publicación.

Objetivos

Con la incorporación voluntaria de los profesores, se integraran grupos de trabajo cuyos objetivos serán:

Objetivos generales:

- I. Fortalecer la enseñanza de la Astronomía apoyando la consolidación del plan y programa de estudios.
- II. Formación de recursos humanos que impartan la asignatura.

Objetivos particulares:

- I. Elaborar, para el curso de Astronomía, materiales escritos.
- II. Producción y Recopilación de material didáctico.

Este proyecto es un plan de trabajo estructurado que pretende organizar y conjuntar a todos los planteles incorporados, formando de manera colectiva la estructura de la asignatura, el cual tendrá frutos en un corto plazo considerando que los esfuerzos estarán enfocados a mejorar el nivel de nuestros egresados y el aumento de la matrícula correspondiente

Alcance del proyecto

Este proyecto incluye, de entrada, a 45 docentes de los dos subsistemas de bachillerato de la UNAM, la mayoría profesores de Física, por lo que las actualizaciones e innovaciones docentes que se generen llegarán también a los alumnos de Física III, el curso que se ofrece a los alumnos recién llegados al bachillerato y potenciales participantes en el curso de Astronomía, de tal manera que esperamos incrementar la matrícula inicial de esta asignatura en los próximos años.

Por otro lado, en el diplomado también participan profesores de Matemáticas, Geografía y Dibujo, lo cual posibilita la necesaria interacción entre docentes de distintas áreas, uno de los puntos neurálgicos de nuestro plan de estudios, el fomento de la multidisciplina y el incremento en la matrícula en las áreas I y II.

La meta que se persigue consiste en concretar y ensayar guías para el profesor, notas para el alumno y estrategias didácticas de enseñanza de la asignatura mediante el empleo de material, equipo y recursos generados para impartirla.

La extensión del proyecto abarca todo el programa de Astronomía planteado, la población beneficiada incluirá a todo aquel que curse esta materia optativa en los 9 planteles de la ENP en cada turno -estimamos que serán alrededor de 600 alumnos cada año-. Para el caso de los 3 planteles del CCH se beneficiarán de manera directa los alumnos de los docentes participantes y eventualmente los profesores de sus planteles en la medida en que se concreten actividades y proyectos vinculados con este

A la población de 4o. Año se le dará la cultura general básica para comprender algunos temas que frecuentemente se escuchan en la radio o se ven en cine y la televisión, permitiéndoles discernir entre la información real y la especulación de los medios de difusión

En general, al disponer de bibliografía más actualizada, videos, revistas, programas por computadora relacionados con Astronomía, prototipos didácticos -entre otros- resultarán de gran utilidad tanto para los alumnos y para el profesor que la imparte. También esperamos que a través de INTERNET puedan hacer consultas que les proporcionen información reciente

Una razón más. Pensar en un futuro próximo en posibles proyectos de investigación a nivel escolar realizados por los alumnos, para esta asignatura, en "Jóvenes hacia la Investigación"

o bien en algún programa de intercambio académico, que les hagan ver la importancia de los conocimientos adquiridos en relación con otras materias curriculares del plan de estudios.

Metodología

Además de las acciones ya realizadas hasta ahora que sustentan este proyecto se enumeran las actividades que habrán de realizarse para el logro de los objetivos

En la primera etapa se elaborará un programa preliminar que incluya las estrategias didácticas diseñadas por el grupo de profesores del diplomado, el cual se probará con los alumnos el primer año de su ejecución, de agosto de 1999 a mayo del 2000. De estos ensayos saldrán las versiones definitivas del material escrito para profesores y alumnos que se detallan mas adelante. Las versiones definitivas se concretarán el tercer año de proyecto.

Las estrategias didácticas comprenden diferentes actividades y modalidades: Secuencias didácticas, visitas guiadas, sociodramas, mapas conceptuales, proyección y discusión de videos, uso de prototipos didácticos de bajo costo que promuevan la participación de profesores y alumnos, talleres para la construcción de instrumentos básicos de uso común, manejo de INTERNET y el uso de equipo especializado incluido en el proyecto, lo que le da una gran riqueza al curso.

Etapas del proyecto

El proyecto se realizará en forma conjunta debido a que los profesores estarán organizados en grupos que trabajaran por separado y en forma paralela y regularmente se reunirán para evaluar los avances e integrar los materiales producidos además de detallar las actividades siguientes.

El proyecto se divide en 8 rubros que duraran los 3 años solicitados:

- Elaboración de material didáctico
- Guía para el profesor
- El manual de prácticas teórico experimentales
- Material de apoyo para el alumno
- Recopilación de material audiovisual existente y posiblemente la elaboración de algún otro.
- Líneas de investigación
- Elaboración de reactivos que permitan valorar los alcances en el aprendizaje y la evaluación final del curso.
- La búsqueda de temas que nos vinculen a ambos subsistemas y permitan la interacción necesaria

Todos ellos entrelazados con los documentos que se piensan entregar y que han sido citados.

El grado de avance de cada uno de ellos se presentará semestralmente de acuerdo con los plazos definidos por el PAPIME.

Actividades

A partir de su participación en el diplomado cada profesor desarrollará un tema del programa, mismo que incluye los rubros de este proyecto. La suma integrada de estas partes dará el material preliminar para el curso de Astronomía, que con la labor frente al grupo de cada docente y las adecuaciones necesarias permitirá concretar los productos finales de este proyecto.

Cada profesor se integrará voluntariamente a un grupo de trabajo. Una vez definidos los grupos, en cada núcleo se organizarán las tareas específicas, mismas que se discutirán en conjunto cuando se requiera de establecer los contenidos básicos y las siguientes metas que queden perfectamente vinculadas con el trabajo propuesto.

Es necesario que los profesores participen en congresos nacionales e internacionales, en foros de discusión y encuentros, a fin de informar e intercambiar experiencias con otros profesores interesados acerca de las propuestas metodológicas y de vincular el trabajo con otras instituciones ya que no podemos trabajar aisladamente en el mejoramiento de la enseñanza.

Los profesores del CCH se integrarán de acuerdo a sus preferencias en cada uno de los grupos establecidos y los resultados obtenidos serán compartidos para ambas instituciones, dando los créditos correspondientes a cada participante o grupo.

Cabe la posibilidad de que los profesores interesados puedan incursionar en algunos temas específicos que les permitan establecer otras direcciones que incidan en el trabajo y en otras posibilidades para el curso de Astronomía.

Las líneas de investigación que se proponen son Conferencias de los institutos y centros antes mencionados, visitas guiadas al OANT, OANSPM, INAOE, CIO, IA, charlas de aula hechas por investigadores, semana de la Astronomía con actividades como carteles, fotografía, videos, conferencias, la Astronomía en el arte Fotografía, pintura, escultura, cerámica, canto, poesía, música, teatro, comics, etc. Campamentos de observación astronómica (se requieren protocolos seguridad), asesoría a estudiantes en proyectos de investigación por parte de profesores e investigadores. Se consideran otras actividades organización de foros congresos, concursos, ferias, estancias para alumnos.

Se consideran otros cursos para profesores como técnicas astrofotográficas, instrumentación astronómica, manejo de telescopios escolares, Física y matemáticas aplicados a problemas de astronomía, prácticas de espectroscopia, practicas de óptica y electrónica, estancias para profesores y la posible instauracion de la maestria en enseñanza de la Astronomía.

Calendarización académica y Cronograma

Un primera etapa transitoria, necesaria y obligada se dara internamente en julio de este año cuando se recopile y afine el material producido hasta entonces por los profesores del diplomado a fin de que los docentes puedan iniciar el curso en agosto.

La primera version preliminar completa del material relativo al curso (los rubros definidos en el proyecto) estará terminada en enero de 2000, lo cual permitirá terminar el curso probando

todas las estrategias propuestas hasta entonces. Estas versiones serán afinadas en el segundo año del proyecto y se incluirán otras actividades y estrategias que refuercen los temas débiles o que hayan quedado incompletos en la primera etapa, las versiones definitivas de este material estarán disponibles al finalizar el tiempo del proyecto dejándolas listas para su publicación.

Cronograma

Etapa preliminar	julio	1999
Versión preliminar	julio	2000
Versión afinada	julio	2001
Versión definitiva	julio	2002

Personal Participante

El Responsable Institucional será el Director General de la ENP Arq. Héctor Herrera León y Vélez porque este proyecto comprende los 9 planteles de la ENP.

El Responsable Académico del proyecto será Juan José Espinosa Rivera Profesor Titular "C" de tiempo completo en el plantel 4.

El Coordinador Académico de la parte del material escrito para los profesores será Alejandro Dozal Luce Titular "B" de tiempo completo en el plantel 5

El Coordinador Académico de la parte del Manual de Prácticas será Emilio Flores Llamas Asociado "A" de tiempo completo en el plantel 5

El Coordinador Académico de la parte las notas para el alumno será Juventino Meléndez Marcos Asociado "C" de tiempo completo, en el plantel 1.

El Coordinador Académico de la recopilación de material audiovisual será el profesor René Cisneros Sandoval Titular "A" de tiempo completo en el plantel 8

El Coordinador Académico para el CCH será Jorge Marroquin de la Rosa como responsable de la vinculación de los temas entre los dos subsistemas

El Coordinador Académico en líneas de investigación será Javier Juárez Zúñiga del CCH Naucalpan

El Coordinador Académico en la elaboración de reactivos Arturo García Cole del CCH Naucalpan

El Coordinador Académico en la elaboración de material didáctico será el profesor Gustavo Saulés Estrada Asignatura "A" en el plantel 4.

Los profesores participantes se enlistan a continuación indicando en que parte del proyecto se encontrarán trabajando a fin de establecer la responsabilidad de cada uno de los participantes

<u>Profesor</u>	<u>Plantel</u>	<u>Parte del proyecto</u>
Salvador Mendieta Osorio	ENP-1	Guía del alumno
Miguel Sánchez Rojas	ENP-2	Guía del alumno
Miguel Angel Moreno Renteria		Guía del profesor
Juan Pérez Bautista	ENP-3	Guía del profesor, material didáctico
Hilario Macias Campos		Guía del profesor, material didáctico
Ligia Kamss Paniagua		Guía del profesor, material didáctico
Mejenes López Rabiudranzh E.		Guía del profesor, recopilación de Material audiovisual y elaboración De material didáctico
Alicia Allier Ondarza	ENP-4	Manual de Prácticas
Enrique Flores Medina		Elaboración de material didáctico
Javier Padilla Robles		Elaboración de reactivos
Vieia E. Maldonado Rodríguez		Elaboración de material didáctico
Hugo Fco. Arzate Hernández	ENP-5	Guía del profesor
Isauro Figueroa Rodríguez	ENP-6	Manual de prácticas
Carlos Sánchez Moreno		Guía del profesor
Ma. Luisa Trejo Mendieta	ENP-7	Material audiovisual
Francisco Guillén Estévez	ENP-8	Material audiovisual
Raúl Reyes Villasana		Material audiovisual
Jesús Ortega Piedras		Manual de practicas
Guadalupe Gómez Diaz		Manual de prácticas
Eduardo Eliosa León		Manual de prácticas y
Silvia Figueroa Campos		Elaboración de material didáctico
Teodoro Cano Miguel	ENP-9	Guía del profesor
Arturo Jiménez Ruiz		Manual de prácticas
		Material audiovisual
Jesús Aguilera García	Azacapotzalco	Guía del profesor
Rosa Silvia Fuentes Díaz		Elaboración de reactivos
José Luis Rangel Lozada		Elaboración de material didáctico
Rosa Silvia Fuentes Díaz	Naucalpan	Elaboración de reactivos
Arturo García Cole		Manual de practicas y
Javier Ramirez Juan		Elaboración de reactivos
Leonardo Martínez Galvan		Manual de prácticas
		Lineas de investigación y
Pedro Angel Quistián Silva		Manual de prácticas
		Guía del alumno
Marcela Rosales Rodriguez	Vallejo	
Francisco Meléndez Fuentes		
Jorge García Figueroa		Elaboración de reactivos

Jesús Lara Guillén
Damián Flores Sánchez
Santiago de la Macorra
Francisco J. Mandujano O.

Material audiovisual
Guía para el profesor
Elaboración material didáctico
Elaboración material didáctico

El grupo de profesores que revisarán el proyecto y darán la asesoría son:

Instituto de Astronomía	Julieta Fierro Gossman
Instituto de Geofísica	Silvia Bravo
Instituto de Física	Eugenio Ley Koo
Centro de Ciencias de la Atmósfera	Cecilia Conde
Centro de Instrumentos	Roberto Ortega
Facultad de Ciencias	Dario Moreno Osorio
Facultad de Ingeniería	Rafael Carmona Paredes

Se requerirán apoyos por determinar para los siguientes profesores para que puedan desarrollar sus tesis de Licenciatura.

Isauro Figueroa Rodríguez
José Salvador Mendieta Osorio
Enrique Flores Medina.

Así mismo para dos profesores con tesis de maestría:

Miguel Sánchez Rojas
Javier Padilla Robles

Se espera que el Instituto de Astronomía pueda a través del Consejo Técnico de la Facultad de Ciencias, facilitar las posibilidades de titulación para estos profesores y en lo subsecuente mantener este programa de titulación para los profesores en activo.

Los profesores se comprometerán a entregar un trabajo escrito al finalizar el diplomado de acuerdo a los que determinen los directores de tesis, el cual se presentará a las instancias correspondientes para su registro y evaluación.

Presupuesto

Partidas que se utilizarán:

211 Viaticos para los participantes del proyecto para asistencia a congresos y foros a nivel Bachillerato	nacional	18 personas	\$ 31,500
	Internacional	6 personas	\$ 6,300
212 Pasajes Foráneos	nacional	18 personas	\$ 45,000
	internacional	6 personas	\$ 60,000
222 Ediciones de libros	3 libros de 1000 ejem.		\$ 36,390
226 Impresiones	carteles, folletos		\$ 10,000

256 Cuotas de inscripción	nacionales 18 pers.	\$ 18,000
	internacional 6 pers.	\$ 15,000
411 Artículos materiales y útiles diversos	software	\$ 5,000
	construcción de planetarios	\$ 5,000
	construcción de telescopios	\$ 60,000
	materiales	\$ 250,000
	Subtotal	\$ 320,000

421 Documentos y servicios de información \$100,000

Partida que les corresponde por mitad a PAPIME y la mitad a la Preparatoria ya que el CCH no participará en estas partidas

521 Libros	PAPIME	\$ 9,000
	Preparatoria	\$ 9,000
	Subtotal	\$ 18,000
	TOTAL	\$660,190

La partida mayoritaria será 50% el primer año, 40% el segundo y 10% el tercero.
El informe financiero se entregará cada 6 meses.

Infraestructura y apoyo técnico disponible

Existe un proyecto de construcción en la ENP que consiste en la construcción de un observatorio y un salón en el área nueva de cada plantel.

La infraestructura con la que se cuentan los laboratorios curriculares de la ENP actualmente es. Un televisor de 27", videocasetera, regresadora, un proyector de acetatos, uno de transparencias, una cámara fotográfica, 2 computadoras pentium y una impresora de chorro de tinta.

Formas de evaluar los productos y resultados

La importancia de este proyecto radica en que esta materia optativa la cursaran alrededor de 600 alumnos cada ciclo escolar, se requiere de infraestructura que esperamos cubrir inicialmente con este proyecto y que posiblemente podamos enriquecer con su práctica y uso.

Evidentemente que el trabajo académico fortaleciera a las instituciones participantes. Esto se reflejará en los alumnos que se interesen y cursen estas materias aumentando la matrícula de los estudiantes a las carreras científicas

Se podrán realizar valoraciones sobre el desempeño de los alumnos durante el ciclo escolar y revisar los índices de aprobación para los alumnos de las carreras de Ingeniería y Física.

En cuanto a los productos se entregará

- I. Una guía para el profesor que contenga manuales para la elaboración de material didáctico
- II. Notas para los alumnos
- III. Un manual de actividades teórico- prácticas para los alumnos.
- IV. Recopilación de materiales audiovisuales.

Las primeras versiones deberán estar listas en un año, contado a partir de la iniciación de este proyecto, y en las siguientes etapas se concretarán las versiones definitivas.

La calidad se podrá medir de maneras objetivas a partir de los materiales escritos propuestos.

La trascendencia que tendrá este será: el incremento de la matrícula de esta asignatura, los resultados en los exámenes diagnósticos de nuestros alumnos egresados, entre otros.

Las instancias y personas involucradas en la evaluación de los productos y resultados serán: La Dirección General de la ENP a través del Director General y Jefa del Departamento de Física, el Instituto de Astronomía de la UNAM a través de la Dra. Julieta Fierro Gossman.

Relación de material y equipo por plantel

Partida 411 Artículos materiales y útiles diversos

software: Programas de Astronomía para computadora, discos compactos	\$ 5,000
construcción de planetarios	\$ 5,000
construcción de telescopios	\$ 60,000
materiales diversos	\$250,000

- Telescopio reflector tipo newtoniano. Características: F8, con una amplificación de 44x. El diámetro del espejo primario es de 140 mm con un radio de curvatura de 2400 mm. La superficie del espejo es parabólica y el tipo de vidrio es pyrex de 25 mm de espesor. El espejo está recubierto de aluminio. Con una buena base el precio es de \$5 000. La cotización es del INAOE en la Ciudad de Puebla
- 12 Filtros solares No. 14 para los telescopios
- Modelo de esfera celeste. Globo de acrílico de 40 cm de diámetro. Mapa estelar en tres dimensiones para mostrar las constelaciones, las estrellas y los movimientos del cielo en general y la visión particular de la esfera celeste desde cualquier punto de la Tierra en cualquier tiempo. \$ 4000 00
- Equipo para mostrar el movimiento del Sol. Hecho de cartón para manejarse manualmente. Muestra el movimiento aparente del Sol en la esfera celeste. Precio \$ 200 pesos.
- Cartuchos de tinta (1 de color, 2 negro por año por plantel). \$1000

- Papel bond tamaño carta (5 millares por año, por plantel) \$ 280.00
- 12 Cajas de 100 acetatos y plumones \$250 por año
- 12 blocks de 20 hojas de papel log-log, por año \$20 c/u
- 60 Rollos de película para hacer transparencias, revelado y monjate \$150 c/u
- 60 videocassetes virgenes para grabar material audiovisual \$35 c/u
- 6 de cada uno por plantel: Pelotas de diferente tamaño, estambre, pinturas de agua, bolas de unicel, laminas de unicel, transportadores de madera, resorte plano, tubo latex, embudos, tijeras, engrapadoras, lupas, brújulas, pinceles, globos terráqueos, cintas métricas flexibles, presillas, lista que nos dio julieta...

REFERENCIAS

Revistas de consulta

Astronomy

Revista Mexicana de Astronomía, del Instituto de Astronomía de la UNAM.

El universo, revista de la Sociedad Astronómica de México.

Orión, boletín del Instituto de Astronomía de la UNAM.

Mixcoatl, boletín de la coordinación de Astrofísica del INAOE.

Sidereus Nuncius, revista de la Sociedad Astronómica de la Facultad de Ingeniería.

Sky and Telescope

¿Cómo ves?, Publicaciones UNAM

Skylab, boletín del Instituto de Geofísica de la UNAM

Universo (astronomía y astronáutica), editada por Antares, Barcelona, España.

Direcciones en internet

Instituto de Astronomía (<http://www.astrocu.unam.mx>)

Instituto de Geofísica (<http://www.igeofcu.unam.mx/geofisica.htm> ,

<http://ariel.igeofcu.unam.mx/skylab/> ,

<http://ariel.igeofcu.unam.mx/index2.html> ,

<http://ariel.igeofcu.unam.mx/radiotelescopio/>)

Dirección de Divulgación de la Ciencia (<http://www.dgdc.unam.mx>)

NASA (<http://teachspace.science.stsci.edu> ,

<http://sunearth.gsfc.nasa.gov> ,

<http://sunearth.ssl.berkeley.edu> ,

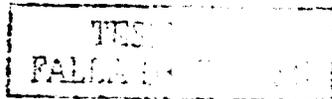
<http://hesperia.gsfc.nasa.gov/hessi/> ,

<http://image.gsfc.nasa.gov> ,

<http://www.timed.jhuapl.edu> ,

<http://ulysses.jpl.nasa.gov> ,

<http://www.lmsal.com/YPOP/> ,



<http://sohowww.nascom.nasa.gov/explore/>,

<http://stp.gsfc.nasa.gov>)

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (<http://www.inaoep.mx>)

Centro de Ciencias de la Atmósfera (<http://serpiente.dgsea.unam.mx/cca>)

Centro de Instrumentos (<http://www.cinstrum.unam.mx>)

Instituto de Física (<http://biblio.ifisicacu.unam.mx/~ifisica>)

Sociedad Astronómica de México (<http://www.spin.com.mx/sam>)

Revista de divulgación científica Universo (<http://www.universo.encomix.es>)

Planetarios

"Luis Enrique Erro"

Av. Wilfrido Massieu s/n
Unidad Profesional Zacatenco
Apdo. Postal No. 75-271
México, D.F.
C.P. 07300
Tel. 55 86 28 47
55 86 28 58

"Sergio González de la Mora" de la C.F.E.

2º. Sec. Del Nvo. Bosque de
Chapultepec
Apdo. Postal No. 18-816
México, D.F.
C.P. 11850
Sede de la AMPAC
Tel. 52 77 57 79
55 16 13 57

"Valente Souza" de la S.A.M.

Parque Felipe Xicotencalt en
Isabel la Católica, esq. Cádiz
Col. Alamos
Apdo. Postal M-9647
México, D.F.
Tel. 55 19 47 30

Museos

de las Ciencias Universum

Zona Cultural, C.U., UNAM

Tel. 54 24 01 45

de la Luz

Calle del Carmen esq. San Ildefonso,

Centro Histórico

Tel. 57 02 31 84

del Templo Mayor

Seminario No. 8, Centro Histórico

Tel. 55 42 47 87

55 42 17 17

Nacional de Antropología

Reforma y Gandhi

Tel. 55 53 63 81

BIBLIOGRAFÍA

- Abetti, G., *Historia de la astronomía*, Fondo de Cultura Económica, Breviarios, México, 1983.
- Bohigas, J., *Génesis y transfiguración de las estrellas*, Fondo de Cultura Económica (La ciencia para todos, núm. 89), México, 1997.
- Bravo, S., *Encuentro con una estrella*, Fondo de Cultura Económica (La ciencia para todos, núm. 38), México, 1997.
- Burillier, H., Lehénaff, Ch., *Hands-on Astronomy*, Cambridge University Press, Cambridge, 2002.
- Castro, M., *México arqueológico*, Monclém ediciones (edición española), México, 2001.
- Comas, J., *Astronomía*, editorial Ramón Sopena, Barcelona, 1965.
- Comellas, J.L., *El mundo de las estrellas*, Equipo Sirius, Madrid, 2001.
- Duby, G., *Atlas histórico mundial*, Editorial Debate, Madrid, 1987.
- Echevarría, J., *Estrellas binarias interactivas*, Fondo de Cultura Económica (La ciencia para todos, núm. 49), México, 1987.
- Fierro, J., *Las estrellas*, Tercer milenio (Consejo Nacional para la Cultura y las Artes), México, 1999.
- *El universo*, Tercer milenio (Consejo Nacional para la Cultura y las Artes), México, 1997.
 - *La astronomía de México*, Lectorum, México, 2001.
- García, J. A., *Astronomía básica*, Fondo de Cultura Económica (Serie Texto Científico Universitario), México, 2000.
- Hoyle, F., *Fronteras de la astronomía*, UNAM, México, 1960.
- Jeans, J., *Historia de la Física*, Fondo de Cultura Económica, Breviarios, México, 1953.
- Karttunen, H. et al., *Fundamental Astronomy*, Springer, 3ª. Edición, 1996.
- Levy, D., *Observar el cielo*, Editorial Planeta, Barcelona, 1995.
- Meléndez, J., *Alternativas de trabajo experimental en Física para alumnos de la E.N.P.*, Tesis Facultad de Ciencias U.N.A.M., México, 1989.

- Moreno, M.A., Compilador, Historia de la astronomía en México, Fondo de Cultura Económica (La ciencia para todos, núm. 4), México, 2000.
- Morley, S., La civilización Maya, Fondo de Cultura Económica, México, 1994.
- Morrison, D., Wolf, S. y Franknoi, A., Abell's Exploration of the Universe, 7a. Edición, 1995.
- Mosqueira, S., Cosmografía y astrofísica, Editorial Patria, México, 1961.
- North, J., Historia fontana de la astronomía y la cosmología, Fondo de Cultura Económica, 1ª. Edición, México, 2001.
- Payne-Gaposchkin, C., Introducción a la astronomía, Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1ª. Edición, 1964.
- Peimbert, M., Compilador, Temas selectos de astrofísica, UNAM, México, 1984.
- Rees, M., Estrellas, cúmulos y galaxias, Salvat Editores (Biblioteca Salvat de Grandes Temas), Barcelona, 1973.
- Rodríguez, L., Un universo en expansión, Fondo de Cultura Económica (La ciencia para todos, núm. 1), México, 1995.
- Rudaux, L., De Vaucouleurs, G., Astronomía: Los astros, el universo, Editorial Labor, Barcelona, 1966.