



UNIDAD DIDÁCTICA LLUVIAS DE ESTRELLAS



Autores:
Luis Bellot
David Martínez
Miquel Serra-Ricart
Emilio Pérez

PRESENTACIÓN

Las lluvias de meteoros son uno de los fenómenos astronómicos más espectaculares que pueden ser observados a simple vista. Por esta razón, un grupo de investigadores del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) desarrollamos el proyecto leónidas 1999 (ver unidad didáctica www.iac.es/educa/leo99) para su estudio científico. Este proyecto incluía también divulgación y enseñanza orientada a alumnos de ESO y Bachillerato, además de un concurso para incentivar la participación durante la tormenta de 1999. El éxito de aquella iniciativa nos impulsó a crear una unidad didáctica más general que pudiera ser utilizada y llevada a cabo por los alumnos de los niveles educativos reseñados.

Este proyecto se articula en torno a una Unidad Didáctica dirigida a profesores de las asignaturas de Taller de Astronomía y Ciencias Naturales de ESO y Bachillerato. El objetivo principal es introducir a los jóvenes estudiantes en el campo de la investigación científica a través de la observación de las lluvias de meteoros a lo largo del año. Mediante esta experiencia se pretende que los participantes se familiaricen con la adquisición y tratamiento de datos científicos, obtengan sus propias conclusiones a partir de ellos, contrasten sus resultados con los de otros grupos independientes y en definitiva, comprendan la naturaleza y los procedimientos de una investigación científica real.



Las lluvias de meteoros ofrecen una oportunidad única para llevar a cabo una experiencia de este tipo por varias razones: (a) es un fenómeno muy poco común y espectacular, y por tanto de alta trascendencia; (b) no requiere ningún instrumento de observación excepto nuestros propios ojos; (c) es uno de los pocos campos de la Astronomía (y de la ciencia en general) al que podemos contribuir de forma significativa con observaciones visuales. Por estos motivos, pretendemos animar a los alumnos a que observen y estudien las lluvias de estrellas. En resumen, se trata de proponer un experimento similar a las prácticas de laboratorio, pero en el que los instrumentos a utilizar son nuestros propios ojos y el laboratorio es el firmamento. La Unidad Didáctica incluye actividades adicionales encaminadas a reforzar el aprendizaje de los alumnos: búsqueda de información a través de Internet, entrenamiento previo con simulaciones por ordenador de las lluvias, etc.

Otro objetivo importante del proyecto es contribuir al conocimiento científico de las lluvias. De manera inmediata, las observaciones permitirán determinar la densidad espacial de partículas en las proximidades de la Tierra.

OBJETIVOS

- Observar el entorno y describirlo empleando un lenguaje apropiado.
- Utilizar conceptos básicos de Física y Matemáticas para describir fenómenos naturales.
- Aprender estrategias para la resolución de problemas a través del método científico.
- Participar en la planificación y desarrollo de experimentos en grupo. Valorar el trabajo en equipo y las responsabilidades que conlleva.
- Aprender a valorar el entorno, sugiriendo iniciativas encaminadas a conservarlo o mejorarlo
- Aprender el impacto que la Astronomía ha tenido en el desarrollo de la Ciencia
- Conocer el papel de los cuerpos menores del Sistema Solar en nuestra vida diaria.

CONCEPTOS

- Los cuerpos menores del Sistema Solar.
- Relación entre meteoros y cometas.
- Las lluvias de meteoros y su importancia en la sociedad actual.
- Aplicación de conceptos de otras asignaturas: flujo, energía, representación gráfica ...



PROCEDIMIENTOS

- Recopilar información sobre cuerpos menores a través de Internet.
 - Realizar un entrenamiento previo con simulaciones numéricas del fenómeno.
 - Aprender a orientarse en el cielo nocturno y reconocer algunas estrellas y constelaciones
 - Efectuar observaciones astronómicas siguiendo una metodología adecuada.
 - Reducir e interpretar de los datos empleando nociones básicas de estadística.
 - Elaborar e interpretar gráficas relacionadas con comportamientos temporales.
- Comunicar los resultados a través de un informe.

ACTITUDES

- Reconocer que el método científico permite plantearse problemas y resolverlos satisfactoriamente a través de la observación.
- Mostrar curiosidad e interés por investigar fenómenos astronómicos relacionados con el Sistema Solar.
- Valorar críticamente las creencias populares, las pseudociencias y las noticias aparecidas en medios de comunicación.
- Apreciar el rigor en la observación y la exactitud en la medida.
- Reflexionar sobre el valor del conocimiento científico y la importancia de la ciencia para el desarrollo de nuestra sociedad.

GUIÓN DIDÁCTICO

Uno de los objetivos principales de este proyecto es realzar el papel activo del alumno en el proceso de aprendizaje. Las actividades que proponemos se han diseñado de manera que el aprendizaje se produzca por descubrimiento. Para lograr este objetivo, es conveniente dar la suficiente importancia a los procedimientos y actitudes. El alumno desarrollará su trabajo de manera organizada e independiente, con el asesoramiento inicial y la supervisión posterior del profesor.

El problema que planteamos (determinar el momento del máximo y el nivel de actividad de las lluvias de meteoros a través de la observación) es claramente interdisciplinario. Para resolverlo, los alumnos deberán entender qué son las lluvias de meteoros y conocer las características de los retornos históricos de las lluvias que estén tratando de observar. Deberán emplear medios informáticos para buscar información y prepararse antes de la lluvia. Por último, tendrán que utilizar conceptos básicos de otras asignaturas para interpretar las observaciones.

No todos los alumnos mostrarán el mismo interés o motivación por llevar a cabo las actividades propuestas. Por ello, la Unidad Didáctica ofrece opciones para un tratamiento adecuado de la diversidad. Los alumnos que no deseen o no puedan observar deben incidir más en la búsqueda de información, la simulación numérica y la interpretación de las noticias que



aparezcan en los medios de comunicación. Es conveniente que los alumnos trabajen en grupos y repartan las tareas. Esta estrategia facilita la atención a la diversidad y crea un ambiente de trabajo muy deseable.

Los contenidos de la Unidad Didáctica están pensados para cuatro o cinco horas de clase, pero admiten ampliaciones o reducciones según el criterio del profesor. El tema puede plantearse presentando las lluvias de meteoros y sugiriendo un debate inicial en el que los alumnos emitan hipótesis sobre el origen de las estrellas fugaces. En este debate se pondrán de manifiesto las ideas preconcebidas de los alumnos. El profesor debe aprovecharlas para motivar a los alumnos a buscar información rigurosa, primer paso de toda investigación científica.

Al exponer las características y el origen de las estrellas fugaces se llegará inmediatamente a los cometas, los cuerpos que producen los meteoros. Podemos aprovechar entonces para introducir los cuerpos menores del Sistema Solar (asteroides, cometas y materia interplanetaria). Una manera atractiva de hacerlo es comentar la distribución de tamaños de los objetos del Sistema Solar. De mayores a menores tenemos el Sol, los planetas y los satélites. Cuanto más pequeños son, más objetos hay. La pregunta obvia es: ¿dónde está el límite inferior? Siguiendo la secuencia tenemos los asteroides, cometas y finalmente los meteoroides, con tamaños de sólo unas micras. Puede dedicarse una clase entera a comentar las características de estos cuerpos, mencionando las apari-

ciones históricas de los cometas y el descubrimiento del primer asteroide en 1800. Es conveniente emplear imágenes de cometas, ya que motivarán a los alumnos por su espectacularidad y permitirán explicar que las colas de polvo están formadas por las partículas que liberan al acercarse al Sol, comentando que siempre se producen en dirección opuesta al Sol. El profesor puede proponer a los alumnos un trabajo sobre las diferentes interpretaciones que los cometas han tenido a lo largo de la historia.

Debe dedicarse un tiempo a explicar el concepto geométrico de radiante y por qué las lluvias de meteoros se observan todos los años durante las mismas fechas. Casi con toda seguridad, los alumnos tendrán dificultades para entender estos conceptos. El uso de analogías, diagramas y figuras puede ayudar a hacerlos más comprensibles.

Tras una pequeña introducción del objetivo de esta práctica, en la que es conveniente subrayar el interés científico de las observaciones, el profesor debe explicar los rudimentos del planisferio celeste con el fin de que los alumnos aprendan a localizar la constelación de donde parecen surgir los meteoros (Actividad 1). Este momento es ideal para explicar que la rotación de la Tierra hace que las estrellas se muevan durante la noche, por lo que las constelaciones no ocupan un lugar fijo en la bóveda celeste.

A continuación se discutirá con los alumnos el fenómeno que van a investigar, se expondrá la metodolo-



gía a seguir y se planificará la observación. Es un buen momento para hacer que el grupo se divida en equipos y los miembros se repartan las tareas. Una vez explicada la metodología de observación, los alumnos deben entrenarse con un programa que simula tormentas de meteoros. Este programa se encuentra en la dirección :

<ftp://ftp.imo.net/pub/software/metsim/>

Conviene que cada miembro del equipo trabaje individualmente con el programa (Actividad 2). Es conveniente que los alumnos instalen el programa en sus casas para realizar el mayor número posible de simulaciones.

Una vez concluido este ejercicio se puede proponer un debate para discutir los comportamientos observados: los meteoros tienen brillos diferentes; hay más meteoros débiles que brillantes; cuanto mayor es la distancia al radiante, más largos son los trazos; hay momentos en los que aparecen varios meteoros simultáneamente y periodos en los que no hay ninguno, etc. A partir de aquí, el profesor pedirá a los alumnos que diseñen estrategias razonadas que permitan un mejor seguimiento de la actividad. Hay que plantear preguntas del tipo: ¿qué ventajas tiene observar desde un sitio oscuro?, ¿hacia dónde mirar?, ¿cómo actuaremos en caso de que la actividad sea tan grande que resulte imposible contar todos los meteoros?, ¿mejorarán nuestras observaciones si observamos la mayor cantidad de tiempo posible?

Llegados a este punto los alumnos tendrán los conocimientos necesarios para realizar las observaciones (Actividad 3). Habrá que efectuar las observaciones tanto en los momentos anteriores a la hora del máximo como en los momentos posteriores, para delimitar de manera más fiable la hora del máximo.

Hay que hacer hincapié en el hecho de que las observaciones son individuales. Cada alumno debe llevar un registro de los meteoros que ve, sin ser influido por los demás (¡no se trata de una competición!). La manera más cómoda de anotar los meteoros es utilizar una grabadora en la que se insertarán marcas de tiempo cada cierto tiempo que está entre 1 y 5 minutos, dependiendo de la resolución temporal que quiera obtenerse. Si no se dispone de grabadora, siempre se puede utilizar una libreta en la cual se escribirá el número total de Impresionante bólido fotografiado en la noche del máximo de la tormenta de Leónidas de 1966. Se observa claramente la explosión terminal que desintegró al meteoróide. La fotografía muestra otras Leónidas más débiles.

meteoros observados en cada intervalo. El profesor debe llevar el control del tiempo, avisando a los alumnos en el periodo de tiempo elegido. Conviene que los alumnos estén separados entre sí uno o dos metros para asegurar la independencia de las observaciones.





Impresionante bólido fotografiado en la noche del máximo de la tormenta de Leónidas de 1966. Se observa claramente la explosión terminal que desintegró al meteoróide. La fotografía muestra otras Leónidas más débiles.

Una vez finalizada la sesión de observación hay que reducir los datos (Actividad 4). Cada alumno contará el número de meteoros que vio en el intervalo elegido. Para aplicar los distintos factores de corrección es necesario averiguar las coordenadas geográficas del lugar de observación. Los mapas del Ejército son muy útiles para ello. El profesor puede utilizar dichos mapas para explicar a los alumnos que el sistema de coordenadas terrestres es esencialmente igual al sistema de coordenadas celestes.

Cuando las observaciones estén reducidas, podrá construirse una gráfica de la actividad frente al tiem-

po. La actividad se expresa en términos de la Tasa Horaria Cenital, es decir, el número de meteoros que un observador normal habría visto durante una hora en condiciones ideales (cielo oscuro y despejado, radiante en el cenit, etc). La curva de THC es muy diferente de la curva de meteoros observados, porque esta última contiene el efecto de la altura del radiante. Cuando el radiante se encuentra a poca altura sobre el horizonte, el flujo de meteoros es pequeño debido a que el ángulo de entrada de las partículas en la atmósfera es casi 90° . Conforme el radiante gana altura sobre el horizonte, el flujo aumenta y se observan más meteoros. El profesor puede utilizar las curvas obtenidas experimentalmente para reforzar el concepto de flujo.

Es interesante que los alumnos añadan barras de error a los puntos de sus gráficas. Según la estadística de Poisson, el error de una medida de conteo es igual a \sqrt{N} , donde N representa el número de meteoros observado en cada intervalo. Teniendo en cuenta la incertidumbre de cada punto es posible determinar si las variaciones de una curva de actividad son significativas o no.

Los alumnos deben comparar sus curvas con los de otros compañeros para llegar a la conclusión de que hay diferencias notables. Estas diferencias son debidas a la diferente percepción de cada observador. ¿Cómo se puede determinar entonces una curva de actividad más fiable? El profesor debe iniciar aquí un debate haciendo ver que si se combinan las curvas de actividad individuales el promedio será mucho



más preciso porque los errores de unos observadores se compensan con los de otros. Podemos introducir así uno de los recursos más utilizados en la investigación científica: el promedio de los datos.

Es conveniente elaborar esta curva promedio empleando los datos de todos los observadores. Las barras de error se determinan hallando la desviación estándar de las medidas que entran en el promedio de cada punto. El resultado final de todo este proceso será una curva de actividad muy suave con errores pequeños. Cuantas más observaciones individuales promediamos, menor será la incertidumbre (con 20 observadores, los errores se reducen un factor 5 aproximadamente). De la curva promedio pueden extraerse los datos que buscamos: la hora a la que ocurre el máximo y el nivel de actividad en ese momento.

Una actividad muy interesante sería la posible participación de varios centros cercanos, lo que hará posible contrastar los resultados de los distintos grupos. Los alumnos deben comprobar si el instante del máximo que han determinado a partir de su curva promedio coincide con los de otros grupos y, en caso contrario, proponer posibles efectos sistemáticos que expliquen las diferencias. Las curvas promedio son fiables, por lo que cualquier diferencia entre ellas revelará variaciones en la densidad de partículas del enjambre de las lluvias a escalas de varios kilómetros. En este caso deben esperarse tendencias sistemáticas, como el retraso o adelanto del máximo hacia longitudes o latitudes mayores, etc.

Para complementar las observaciones, sugerimos un pequeño trabajo sobre las propiedades físicas de los meteoros (Actividad 6). En este trabajo, los alumnos calcularán la masa de los meteoros en función de su magnitud, determinarán la influencia de la velocidad en el brillo aparente de los meteoros y compararán las energías cinéticas típicas de los meteoros con las de objetos de nuestro entorno.

Normalmente la actividad de las distintas lluvias suele ser baja ($THC < 20$). Para que los alumnos no se decepcionen, es preciso transmitirles la idea de que se observarán pocos meteoros. Luego, si tenemos la suerte de ver una lluvia bastante activa, será todo un espectáculo para ellos.



ACTIVIDADES

ACTIVIDAD 1: LOCALIZACIÓN DE LAS CONSTELACIONES

Objetivo: Aprender a reconocer algunas constelaciones que se encuentren en la proximidad de la zona donde se espera observar los meteoros. El conocimiento de estas constelaciones es muy útil para llevar a cabo la observación de la lluvia de meteoros. Aprender a determinar la calidad del cielo.

Material: Emplearemos básicamente un planisferio celeste y las cartas de identificación que se incluyen aquí. Si se desea, pueden aprovecharse las posibilidades de los programas de simulación disponibles para PC. Estos programas permitirán al alumno determinar el aspecto del cielo en cualquier día y hora de observación (en particular, en la noche del máximo) e incluso simular el movimiento diurno del firmamento. El programa *Skymap* es gratuito y fácil de manejar. Puede conseguirse en:

http://www.skymap.com/skymap_download.htm

En <http://www.fourmilab.ch/yoursky/> existe un formulario que permite construir planisferios.

Desarrollo

1. USO DEL PLANISFERIO Y RECONOCIMIENTO DE CONSTELACIONES

Reconocer las constelaciones puede ser sencillo si usamos un mapa adecuado. Sin embargo, debido al movimiento de rotación y traslación de la Tierra, el aspecto del firmamento desde nuestra localidad varía con la hora y el día del año. El mejor modo de saber qué constelaciones podemos observar es mediante el uso de un planisferio celeste, que permite obtener el mapa del cielo a la hora y día de observación. El planisferio puede adquirirse fácilmente en librerías o en museos de la ciencia.

El planisferio está compuesto por un mapa del cielo completo visible desde nuestra latitud sobre el cual gira una plantilla circular. Esta plantilla tiene una ventana transparente que muestra el cielo visible. Los bordes de la ventana representan el horizonte a nuestro alrededor, que están marcados con los respectivos puntos cardinales. El centro de la ventana representa la región del cielo justamente encima de nuestras cabezas.

El primer paso es «poner en hora el planisferio», para lo cual se girará la plantilla hasta colocarla en el día del año y hora correspondiente. A continuación, debemos orientarlo correctamente, de forma que coincidan los puntos cardinales marcados en él con los de nuestro lugar de observación.



Una vez hecho esto, ya podemos empezar la tarea de reconocer las constelaciones. Es conveniente comenzar con las más sencillas (por ejemplo, Orión, Osa Mayor), para hacerse una idea del tamaño de las mismas. Hay constelaciones que siempre están sobre el horizonte, tales como la Osa Menor (que incluye a la estrella Polar) o Casiopea. Esto es fácil de comprobar dando una vuelta completa a la plantilla y viendo que nunca cortan la línea del horizonte. Las constelaciones circumpolares son también fáciles de reconocer y una buena referencia para encontrar las demás.

Es importante tener en cuenta que los planetas no aparecen marcados en el planisferio. Una solución para determinar su posición y tenerlos en cuenta sería utilizar el *Skymap* para ubicarlos en la noche elegida para la observación.

2. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL CIELO

El número de meteoros que verá un observador dependerá de la calidad del cielo desde su lugar de observación. En lugares afectados por fuerte contaminación luminosa el número de meteoros disminuye drásticamente, ya que hay muchos más meteoros débiles que brillantes, y los débiles no son visibles porque se pierden en el fondo iluminado del cielo. Por este motivo, es imprescindible buscar un lugar suficientemente oscuro y alejado de los centros urbanos para obtener datos de calidad y disfrutar de la lluvia en todo su esplendor.



Para medir la calidad del cielo se usa lo que llamamos magnitud límite (ML), es decir, el brillo de la estrella más débil visible a simple vista. Todos los meteoros más débiles que ML se perderán, por lo que hay que corregir las observaciones para tener en cuenta este efecto. Ya que es muy difícil medir la ML directamente, utilizamos un método basado en el conteo de estrellas en una serie de regiones seleccionadas del firmamento. La ML puede obtenerse fácilmente a partir del número de estrellas observadas en esas regiones mediante unas tablas de transformación.

Aquí, como ejemplo, ofrecemos el campo que se encuentra situado en Tauro. Por tanto, el primer paso fundamental es localizar Tauro. La conversión entre el número de estrellas dentro del triángulo y la magnitud límite está en la tabla adjunta.

Número de estrellas	ML	Número de estrellas	ML
1	0.99	10	5.51
2	1.68	11	5.73
3	3.00	12	5.84
4	4.62	13	6.10
5	4.88	14	6.19
6	4.95	15	6.27
7	5.09	16	6.29
8	5.29	17	6.36
9	5.43	18	6.5

Así, por ejemplo, si vemos 16 estrellas en el triángulo de Tauro, tendremos una magnitud límite de 6.29. Como se explica en la Actividad 3, la magnitud límite debe medirse y anotarse cada hora para poder corregir las tasas observadas.



Localización de la constelación de Tauro para el cálculo de la magnitud límite. La magnitud límite se obtiene contando el número de estrellas visibles dentro del triángulo señalado en rojo.

Evidentemente, el primer paso es elegir el campo que se va a utilizar para el cálculo de la magnitud límite. Al efecto incluimos en el apartado de las Lluvias anuales los campos que se podrían utilizar para el cálculo de esta magnitud límite.

Además, se adjuntan las tablas de conversión para obtener la magnitud límite en función del número de estrellas contabilizadas en el campo.

Se recomienda utilizar aquel que resulte más fácil de localizar. Para ello sería muy interesante que los alumnos eligieran este campo unos días antes de la observación y localizaran en las noches previas tanto el campo de observación de los meteoros como el campo para el cálculo de la magnitud límite. Podrían entrenarse los alumnos haciendo cálculos de la magnitud límite en estas noches previas, para adquirir soltura con las tablas de conversión.

ACTIVIDAD 2: SIMULACIÓN DE UNA LLUVIA

Objetivo: En esta actividad se pretende que el alumno simule una tormenta de meteoros con ayuda del ordenador. Además de entrenarle para la observación, la simulación le permitirá deducir los comportamientos más característicos de las lluvias de meteoros.

Material: Emplearemos el programa *MetSim*, desarrollado por la Organización Internacional de Meteoros. Este programa tiene dos modos de operación: simulación y entrenamiento. Puede conseguirse en la dirección:

<ftp://ftp.imo.net/pub/software/metsim/>

Descripción: El programa simula una tormenta de meteoros tal y como la vería un observador visual. El campo de la pantalla es aproximadamente igual al campo de visión del ojo humano. La simulación reproduce todas las características de los meteoros: diferentes brillos, curvas de luz, velocidades, distancias al radiante, estelas, etc. Incluye un fondo de estrellas para aumentar el realismo. El programa tiene tres modos de operación. En el primero (training), el usuario introduce el número de meteoros por segundo que quiere simular. Este modo es muy útil para que los alumnos tomen contacto con el programa. Los otros dos modos de operación (test) son de entrenamiento. El programa reproduce una actividad y el usuario



debe estimar el número de meteoros por segundo. La única diferencia entre los dos modos consiste en que en el primero la actividad es fija, mientras que en el segundo la actividad varía y el usuario debe estimarla cada minuto. Los resultados de este entrenamiento se guardan en un fichero, ya que tienen gran interés para calibrar las observaciones visuales de las Leónidas de 1966.

Procedimiento

1. Instalar el programa y ejecutarlo desde DOS con el comando `metsim`. La lista de opciones puede conseguirse ejecutando `metsim -help`. La opción `-r` permite variar la relación poblacional de la lluvia. Este parámetro indica el cociente entre el número de meteoros de magnitud $m+1$ y el número de meteoros de magnitud m , y puede variar entre 1 y 3. Cuando la relación poblacional vale 2, por ejemplo, hay dos veces más meteoros de magnitud 4 que de magnitud 3, dos veces más meteoros de magnitud 3 que de magnitud 2, y así sucesivamente. Las lluvias normales suelen tener relaciones poblacionales próximas a 2. Las tormentas de Leónidas producen una gran cantidad de meteoros débiles, por lo que su relación poblacional es algo más elevada (del orden de 2.5). La opción `-v` permite cambiar la velocidad de las partículas entre 10 y 70 km/s. Por defecto, el programa utiliza una velocidad de 50 km/s. En la información que se da de cada lluvia de meteoros se ofrece una estimación de la velocidad de los meteoros que la forman, al objeto de poder variar este parámetro.

Una opción muy útil del programa permite cambiar la distancia entre el centro del campo de visión y el radiante. Con ella podremos determinar cuál es el campo de visión más adecuado. Se ejecuta escribiendo `metsim -rp x y`, donde x e y son las distancias al radiante (en grados) en azimut y elevación, respectivamente.

2. En modo de simulación (training), introducir una actividad baja (por ejemplo, 3 meteoros por segundo) y describir la apariencia de la lluvia, así como las características de los meteoros. Si se selecciona la opción `-rp 0`, el radiante estará en el centro de la pantalla y se podrá comprobar que todos los meteoros parecen surgir de él.

El profesor puede pedir a los alumnos que respondan a las siguientes preguntas: ¿cómo es la distribución del brillo de los meteoros? ¿tienen todos la misma velocidad?, ¿y la misma longitud?, ¿los meteoros aparecen a un ritmo constante o en grupos?

A continuación, debe aumentarse la actividad (manteniendo los demás parámetros) para determinar si las características de los meteoros cambian. Obviamente, la respuesta es que no. Cuando los alumnos hayan respondido estas preguntas pueden pasar a buscar el mejor centro del campo de visión, seleccionando distintas distancias al radiante con la opción `-rp`.

Debe investigarse aquí cómo cambia la apariencia de los meteoros al aumentar la distancia al radiante, en particular su longitud y velocidad. Se pretende



que los alumnos lleguen a la conclusión de que, aunque la longitud de los meteoros es mayor lejos del radiante (lo que hace que sean más fáciles de ver), la velocidad aparente también aumenta (lo que dificulta su detección). En la práctica, el centro del campo de visión se elige a 30° - 40° del radiante.

3. En modo de entrenamiento (test), los alumnos deben estimar la actividad simulada por el ordenador. Es mejor empezar con actividad constante (single test). En la esquina inferior izquierda aparece un reloj que ayudará a controlar el tiempo. Cuando el alumno haya estimado la actividad, el programa le pedirá el nombre de un fichero en el que guardará sus respuestas. Cada alumno debe crear un fichero con su apellido para poder identificarlo posteriormente. El alumno trabajará individualmente con la simulación para que descubra lo difícil que resulta dar un valor preciso de la actividad observada. Es importante hacer muchas simulaciones, ya que el alumno ganará experiencia y podrá realizar mejores estimaciones.

Tras practicar en el modo single test, es conveniente entrenarse con el modo continuous test, donde la actividad no es constante. El alumno debe estimarla cada minuto y anotarla en papel. Con esta simulación introducimos más complejidad, acercándonos a lo que será la dinámica de la observación real.

Para examinar los resultados de las simulaciones basta editar el fichero de cada alumno. Es interesante que comprueben y discutan los errores cometidos.

Con la experiencia adquirida, los alumnos podrán diseñar estrategias encaminadas a mejorar las observaciones. El profesor planteará la necesidad de observar desde un lugar oscuro para no perder los meteoros más débiles. Se puede introducir así el problema de la contaminación luminosa como tema transversal.



ACTIVIDAD 3: OBSERVACIÓN DE LOS METEOROS

Objetivo: Enseñar a los alumnos a realizar observaciones visuales de meteoros siguiendo una metodología adecuada.

Instrucciones de observación

Antes de observar, conviene tener en cuenta que:

El lugar de observación debe estar alejado de luces parásitas, con un horizonte libre de obstáculos (montañas, árboles, etc). Por unos kilómetros de más no podemos arriesgarnos a perder el espectáculo.

El éxito de las observaciones depende de la comodidad de los observadores. Los alumnos se tumbarán en el suelo o en una hamaca en posición horizontal. Es imprescindible utilizar sacos de dormir y aislantes térmicos para protegerse del frío, llevando **suficiente ropa de abrigo y una almohada para el cuello.**

Hay que dejar un tiempo (15-20 minutos) para que el ojo se adapte a la oscuridad. El profesor debe asegurar que los alumnos no deslumbren a los demás con sus linternas. Puede emplearse celofán rojo delante de las linternas para evitar deslumbramientos.

Las observaciones **son individuales.** Cada alumno debe anotar sus datos en una grabadora. Si alguien no tiene grabadora, empleará una libreta. Para garantizar la independencia de las observaciones, los

alumnos se alejarán un par de metros unos de otros. No olvidar pilas de repuesto y dos o tres cintas para grabar los datos.

El profesor llevará el control del tiempo. Por ejemplo, (según el tiempo elegido como intervalo) dirá la hora en voz alta para que los alumnos la anoten.



Grupo de observadores de la Dutch Meteor Society preparándose para una observación visual de meteoros. Esta fotografía enseña cómo hay que distribuirse para observar. ¡La comodidad es lo primero!

La observación propiamente dicha consiste en *contar* el número de meteoros que se ven en el campo de visión en **cada intervalo elegido**. El profesor tiene que asegurarse de que los intervalos de conteo empiezan exactamente a la hora en punto, y de que todos los alumnos insertan marcas de tiempo en sus registros a la vez, ya que esto facilitará la reducción posterior de los datos. Es muy importante que el alum-



no observe todo el tiempo que dura un intervalo, porque si no lo hace así los datos serían erróneos.

Al comienzo de cada hora de observación (por ejemplo a la 1:00, las 2:00, etc.), los alumnos deben estimar la magnitud límite estelar (la magnitud de la estrella más débil visible a simple vista). Para ello, contarán el número de estrellas que son capaces de ver dentro del campo seleccionado para calcular la magnitud límite. Hay que contar todas las estrellas teniendo cuidado de no repetir las, e **incluir las de los vértices**. Esta es una medida independiente. El profesor debe recordar que no se trata de una competición, sino de que cada alumno estime la calidad del cielo. Conviene utilizar visión periférica (mirar por el “rabillo del ojo” para esta medida. Al terminar la observación, el alumno calculará la magnitud límite a partir del número de estrellas que vio, tal y como se explica en la Actividad 1.

En caso de que haya nubes, cada alumno tendrá que estimar el porcentaje de su campo de visión cubierto por nubes y anotarlo para cada intervalo. ¡Atención! Es muy fácil olvidarse de este dato, por lo que el profesor debe cerciorarse de que se calcula si ve que hay nubes. Cada alumno hará su estimación independientemente de los demás, y sólo teniendo en cuenta su campo de visión.

Otros consejos útiles son los siguientes:

Los alumnos deben tumbarse en el suelo o en una hamaca en posición completamente horizontal. A lo largo de la noche hay que ir moviéndose para no perder el campo de visión original.

No centrar el campo de visión en el radiante, pues es el punto donde menos meteoros se esperan.

Es necesario contar todos los meteoros que aparezcan dentro del campo de visión, incluyendo los que se ven por el rabillo del ojo.

Cada hora se puede hacer una pausa de 5 minutos para descansar, pero para facilitar la reducción de los datos es conveniente que todos los alumnos descansen al mismo tiempo y vuelvan a empezar juntos.

Intentar conservar la calma. Si la actividad es muy alta, el profesor procurará que los alumnos se concentren y no dejen de tomar datos. Debe controlar también a los alumnos que entorpezcan el trabajo de los demás.

Si un alumno pierde la cuenta de meteoros en un intervalo dado, es mejor que no lo incluya en el análisis posterior de los datos. **Es preferible tener pocos datos, pero buenos, que muchos y malos.**



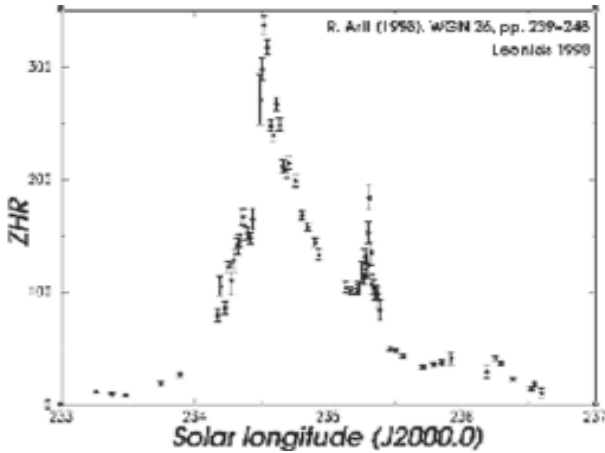
ACTIVIDAD 4: REDUCCIÓN DE LOS DATOS

Ya que las condiciones de observación nunca son ideales, es necesario corregir el número de meteoros observado en cada intervalo para poder comparar los datos de diferentes observadores. Para una actividad real dada, el número de meteoros observado depende de la oscuridad del cielo, del tanto por ciento de cielo cubierto y de la altura del radiante. Estos efectos se corrigen a través de varios factores de corrección que han sido implementados en la hoja de cálculo. Cuando se aplican a N (el número de meteoros observados en un intervalo), obtenemos las llamadas tasas horarias cenitales (THCs).

La fórmula para calcular una THC es

$$THC_i = \frac{N}{T_{efectivo}} \times r^{(6.5-ML)} \times \frac{100}{100-k} \times \frac{1}{sen h},$$

donde $N / T_{efectivo}$ es el número de meteoros por hora, $r^{(6.5-ML)}$ es el factor de corrección por oscuridad del cielo, k es el tanto por ciento de campo de visión cubierto por nubes, y $1 / sen h$ es el factor de corrección por altura del radiante (h). **Es muy importante que los alumnos estén observando todo el tiempo que dura un intervalo, porque en caso contrario el tiempo efectivo sería menor y las THCs obtenidas no representarían la actividad real.**



Curva de actividad promedio de las Leónidas en 1998 obtenida a partir de los datos de 200 observadores. Se aprecian claramente dos máximos, el segundo de los cuales fue producido por la componente de tormenta. El tiempo se expresa en longitud solar que se define como un parámetro que especifica la posición de la Tierra en su órbita alrededor del Sol. Una hora de tiempo corresponde a unos 0.04° de longitud solar.

Para calcular los factores de la fórmula anterior definimos una serie de variables:

THC_i : tasa horaria cenital en el intervalo de observación i .

N : número de meteoros en el intervalo i .

$T_{inicial}$: tiempo en el que se inicia la observación en el intervalo i , en horas.

T_{final} : tiempo en el que se finaliza la observación en el intervalo i , en horas



r : relación poblacional, característica de cada lluvia.
La damos en el apartado de lluvias anuales

k : campo de visión cubierto por nubes, en %.

M_i : magnitud límite calculada para el intervalo i . En realidad, es aquella que se encuentra más próxima en el tiempo al intervalo.

h : altura del radiante en el intervalo i .

T_{medio} : *hora promedio en la que se observa.*

Con todas estas variables definidas damos a continuación un proceso posible de reducción de los datos, que se puede automatizar fácilmente en una hoja de cálculo de Excel, por ejemplo.

Se divide en dos partes fundamentales: ordenación de las observaciones y cálculo.

1. ORDENACIÓN DE LAS OBSERVACIONES

Las observaciones transcritas de la grabación o tomadas en la libreta se ordenan para que el cálculo sea más sencillo. Aquí damos un ejemplo de ordenación de las observaciones:

LEONIDAS 2002

Longitud de la observación: $18^{\circ} 30' 11'' \text{ O}$

Latitud de la observación: $28^{\circ} 22' 01'' \text{ N}$

Fecha de la observación: 18 – nov -2002

Ascensión Recta del Radiante: 153.2°

Declinación: $+22^{\circ}$

$r = 2.5$

T_{inicial} (hh mm)	T_{final} (hh mm)	T_{inicial} (hh)	T_{final} (hh)	k (%)	N	M_1
01h 00m	01h 01m	1.000000	1.016667	0	2	6.0
01h 01m	01h 02m	1.016667	1.033334	0	1	6.0



2. CÁLCULOS

Una vez ordenadas las observaciones procedemos a calcular la THC. Lo haremos calculando cada factor para el ejemplo anterior, teniendo en cuenta que el tiempo efectivo de observación en cada intervalo es:

$$T_{\text{efectivo}} = T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}, \text{ dado en horas.}$$

T_{efectivo} (hh)	N/Tefectivo	$r^{(6.5-ML)}$	100/100-K
0.016667	119.997600	1.581139	1.000000
0.016667	59.998800	1.581139	1.000000

Ahora el problema aparece para calcular el factor

$$\frac{1}{\text{sen}h}. \text{ Ya que el radiante se mueve, debido a la rota-}$$

ción terrestre, el valor de h varía según la hora a la que se observe el mismo. Esto implica que la corrección habría que realizarla cada instante que se observa. Lo que haremos es definir un tiempo promedio. Es decir asumimos que el radiante en el intervalo de tiempo que se observa ha estado situado en el punto que tendría en el tiempo promedio. Evidentemente, cuanto más corto sea el intervalo en el que se divide el conteo de meteoros, más precisa será esta corrección.

La definición de este tiempo promedio la hacemos de la manera siguiente:

$$T_{\text{promedio}} = T_{\text{inicial}} + \left[\frac{T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}}{2} \right]$$



Luego en un programa como el *Skymap*, calculamos la altura a la que se encuentra el radiante en el lugar de la observación, a la hora dada por el tiempo promedio. Con esto calcularemos el valor de la distancia cenital h como: $h = 90^\circ - z$, con z la altura del radiante sobre el horizonte en el tiempo promedio. Así esta parte de los cálculos quedaría:

T_{promedio} (hh)	T_{promedio} (hh mm ss)	z	h	$\text{sen } h$	$1/\text{sen } h$
1.008333	01h 00m 30s	88.1°	1.9°	0.033155	30.161333
1.025000	01h 01m 30s	87.9°	2.1°	0.036643	27.293419

De este modo, tenemos todos los factores que necesitamos calculados para calcular la THC:

$$\text{THC}(T_1) = 119,997600 \times 1,581139 \times 30,161333 = 5722,596733 \text{ met/hora.}$$

$$\text{THC}(T_2) = 59,998800 \times 1,581139 \times 27,293419 = 2589,229568 \text{ met/hora.}$$

Y así habría que proceder con cada uno de los intervalos de observación.

Si quisiéramos ver una estimación del error de nuestras medidas, el error de la THC_i estaría dado por la expresión:

$$\Delta \text{THC}_i = \frac{1}{\sqrt{\text{THC}_i}} .$$

Para minimizar el error de las medidas, lo que se hace a continuación es realizar el promedio en cada intervalo de todas las medidas que tenemos de THC, calculada por cada alumno:

$$\overline{\text{THC}} = \frac{\text{THC}(\text{alumno1}) + \text{THC}(\text{alumno2}) + \dots + \text{THC}(\text{alumno } n)}{n}$$

y el error sería el dado por la desviación estándar que tenemos al realizar el cálculo de la media:

$$\Delta \overline{THC}_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (THC_i(\text{alumno}_i) - \overline{THC}_i)^2} .$$

CÁLCULOS THC EN LA WEB

Otra posibilidad sería utilizar programas para calcular la THC es obtener en internet programas que calculen la THC. Hay algunos que la calculan automáticamente, aunque hay que obtener información previa de los datos de entrada y salida de los programas. Se dan a continuación las direcciones donde obtener algunos de ellos:

http://astroclub.net/mercure/aav/meteoro/thz_calc.htm

<http://www.astrored.org/observ/somyce/software.html>

<http://www.imo.net>

ACTIVIDAD 5: FOTOGRAFÍA

Objetivo: Introducir a los alumnos en las técnicas básicas de la fotografía astronómica mediante la realización de fotografías de las Leónidas durante la noche del máximo. Esta experiencia les permitirá comprobar empíricamente fenómenos tales como la rotación de la Tierra y la posición del radiante de la lluvia.

Material: Se usará, si es posible una cámara reflex con óptica intercambiable. Se recomienda elegir el objetivo que proporcione el mayor campo. Por ejemplo, un 24 ó 28 mm a focal 2.8 es una buena opción, pues tiene un gran campo y una aceptable luminosidad. Los mejores resultados pueden obtenerse con un objetivo «ojo de pez», que permite fotografiar una panorámica de todo el cielo, pero en general son caros y menos asequibles. En caso de que no dispongamos de un gran angular, podemos usar un 50 mm estándar a focal 1.2 ó 1.6. No deben usarse en ningún caso teleobjetivos ni cámaras electrónicas.

Sólo utilizaremos película en B/N de alta sensibilidad. Las recomendadas son T-Max 3200 ASA de Kodak o, en su defecto, Tri-X 400 ASA de Kodak. Conviene llevar 3 ó 4 rollos de película por cámara si se pretende observar toda la noche.

La cámara deberá estar colocada sobre un trípode muy estable, que permita tomar fotografías en varias posiciones. Debido a que haremos exposiciones de varios minutos, es imprescindible también un disparador de cable lo más largo posible.



Procedimiento: Se llevarán a cabo exposiciones cada 5 minutos, anotando el tiempo de inicio y fin de las fotografías con precisión del segundo. La orientación del campo se elegirá dependiendo de la altura del radiante sobre el horizonte y, por tanto, variará a lo largo de la noche. Siempre apuntaremos la cámara en dirección opuesta al radiante. En otras ocasiones, si se desea, se puede fotografiar la región del cielo donde veamos una actividad mayor o donde haya menos contaminación luminosa. En cualquier caso, siempre hay que anotar la zona del cielo fotografiada para luego poder reconocerla.

Los tiempos de exposición aconsejados son 1 minuto y medio y 3 minutos para focales entre 2.0 y 2.8. No olvidar colocar la cámara en la posición «B» (larga exposición) y abrir el diafragma al máximo. Es importante tener en cuenta que, con estos tiempos de exposición, el movimiento diurno de las estrellas se hará patente en la fotografía y las estrellas aparecerán como arcos paralelos con centro en el polo celeste (próximo a la estrella polar). Esto puede hacer algo confusa la interpretación de las fotografías para los alumnos. Sin embargo, los meteoros se reconocen fácilmente porque son los únicos trazos no paralelos al movimiento de la bóveda celeste. Este tipo de fotografías permitirá al alumno familiarizarse con el movimiento diurno del firmamento y comprobar empíricamente la rotación de la Tierra y, si se desea, estimar el periodo de rotación de la misma. Para ello se recomienda tomar una exposición centrada en el polo celeste.



Enorme bólido registrado en una fotografía de larga exposición. Se aprecia claramente el movimiento circular de las estrellas alrededor de la estrella Polar (situada en la esquina superior izquierda)

Si queremos tomar fotografías en las que las estrellas no aparezcan movidas por el movimiento diurno, debemos usar tiempos de exposición más cortos, aunque en este caso la probabilidad de captar meteoros será menor si la actividad no es muy alta. Recomendamos exposiciones de 20-30 segundos. Este tipo de fotografías da un resultado más estético y permitirá al alumno reconocer las constelaciones y comprobar más fácilmente que cómo todos los meteoros tienen órbitas paralelas que convergen en el radiante. Sin embargo, son de menor interés científico, pues el objetivo es registrar el máximo número posible de meteoros. Dejamos a elección del profesor el criterio a seguir en lo que se refiere al tiempo de exposición.

Con la fotografía es posible captar fenómenos espectaculares raramente observables excepto en lluvias de meteoros muy intensas:

- **Bólidos:** Son meteoros con brillos superiores a los de cualquier estrella o planeta. Los producen las partículas más grandes de la lluvia. Si estamos seguros de que algún bólido ha atravesado el campo de visión de la cámara, interrumpiremos la exposición y



anotaremos la hora y una breve descripción de sus características (velocidad, color, magnitud, etc).

- *Estelas persistentes*: Los meteoros más brillantes suelen producir estelas de larga duración (hasta varios minutos), que en ocasiones se distorsionan debido a los movimientos de aire en las capas altas de la atmósfera. Esto produce un verdadero espectáculo digno de ser immortalizado. En caso de observar una estela persistente muy brillante, hay que reaccionar con rapidez y tomar una secuencia de fotografías, con tiempos de exposición de 5-10 segundos, hasta que desaparezca. Así comprobaremos la evolución temporal de la estela.

Recomendaciones básicas

- Aunque la fotografía astronómica es muy atractiva, aconsejamos al profesor que la considere una actividad complementaria a las anteriores, nunca el objeto principal de las observaciones.

- Se recomienda que sea el mismo profesor el que tome las fotografías o, en su defecto, un par de alumnos si lo cree conveniente. Los alumnos deberían dedicarse exclusivamente al conteo antes descrito, de mayor interés didáctico y científico.

- No se recomienda en ningún caso un elevado número de cámaras para evitar que muchos alumnos se dediquen a la fotografía. Hay que repartir el trabajo.

ACTIVIDAD 6. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS METEOROS

Objetivo: Hacer que los alumnos descubran las masas y tamaños típicos de las partículas de polvo que dan lugar a los meteoros. Estudiar sus energías y discutir los posibles efectos que pueden tener sobre nuestra vida.

Conocimientos previos: Se emplean algunos conceptos físicos (magnitud de una estrella, energía cinética, etc) y herramientas matemáticas que pueden no ser conocidos por los alumnos. Dependiendo del nivel de la clase, el profesor decidirá si lleva a cabo esta actividad o no.

Material: Calculadora.

Procedimiento: A través de estudios fotográficos se ha determinado la siguiente relación empírica que liga la magnitud (M) de un meteoro con su masa (m) y velocidad (v):

$$M = 40 - 2.5 \log (2.732 \times 10^{10} \times m^{0.92} \times v^{3.91}),$$

donde la masa se expresa en gramos y la velocidad en km/s. Esta expresión indica que el brillo de un meteoro aumenta al incrementarse la masa o la velocidad de entrada de la partícula (recordemos que magnitudes más pequeñas implican brillos más grandes). Despejando la masa en función de la magnitud y la velocidad tenemos



$$m = 10^{(6.1139 - 0.4348 M)} \times v^{-4.25}.$$

Con ella podremos calcular las masas típicas de los meteoros. En la Actividad 1, los alumnos aprendieron a reconocer algunas estrellas y sus magnitudes. La magnitud de un meteoro se calcula comparando su brillo con el de estrellas conocidas. Se puede pedir a los alumnos que confeccionen una tabla en la que aparezcan varias magnitudes, el nombre de alguna estrella que tenga esa magnitud y la masa de un meteoro de igual brillo. En la tabla siguiente damos un ejemplo como guía para el profesor.

Magnitud	Estrella o planeta	Masa de un Meteoro del mismo brillo (g)
-4	Venus	0.97
-2	Júpiter	0.13
0	Vega (a Lyrae)	0.02
2	Estrellas de la Osa Mayor	0.0024
4	Estrellas de las Pléyades	0.0003
6	Estrella más débil visible a simple vista	0.00004

Del análisis de esta tabla se concluye que la masa de las Leónidas es extremadamente pequeña. Los meteoros tan brillantes como Venus, por ejemplo, apenas pesan un gramo. A criterio del profesor, los alumnos pueden confeccionar tablas similares para las distintas lluvias de meteoros, como las Perseidas de agosto ($v = 59$ km/s), las Quadrántidas de enero ($v = 41$ km/s) o las Gemínidas de diciembre ($v = 35$ km/s).

Conociendo la masa de los meteoros se puede calcular su energía cinética y compararla con la de objetos de nuestro entorno. El resultado, cuando menos, sorprenderá a los alumnos. A partir de la expresión $E_c = (1/2) m v^2$, hemos confeccionado la siguiente tabla de energías:

Objeto	Masa	Velocidad	Energía	Escala
Carl Lewis corriendo los 100 metros	70 kg	11 m/s	42.4 J	1
Bala disparada por una pistola	100 g	200 m/s	2000 J	47
Coche a 100 km/h	1000 kg	27 m/s	364500 J	860
Leónida de magnitud -4	1 g	71 km/s	2520500 J	59446

El profesor puede pedir a los alumnos que busquen otros objetos de la vida diaria, rellenen las dos últimas columnas y comenten los resultados. Atención a las unidades: hay que expresarlas en el SI. Es interesante plantear preguntas del tipo: ¿qué parámetro determina fundamentalmente la energía cinética de un cuerpo, la masa o la velocidad?, ¿era esperable que la energía de un meteoro de magnitud -4 sea siete veces mayor que la de un coche moviéndose a 100 km/h?, ¿qué velocidad debería tener el coche para que su energía cinética fuera igual a la de l meteoro?

Entre otros motivos, estudiar las Lluvias de meteoros es importante porque las partículas pueden chocar con los satélites espaciales y destruirlos completamente. Las consecuencias para las comunicaciones en Tierra serían desastrosas. El profesor debe hacer ver a los alumnos que se trata de un peligro muy real. De los datos anteriores se deduce, por ejemplo, que el impacto de un meteoro de magnitud -4 con un satélite espacial sería equivalente al choque de un automóvil a más de 100 km/h. Los alumnos pueden buscar otros ejemplos para entender la importancia de una buena predicción de la actividad de las Lluvias más intensas.



LLUVIAS DE METEOROS A LO LARGO DEL AÑO

Aquí se da una lista de las lluvias de meteoros más importantes a lo largo del año. Damos los datos más significativos y la información necesaria para llevar a cabo las observaciones. Éstas son:

- *Datos relevantes de la lluvia*
- *Zona del cielo donde se observa*
- *Campo utilizable para calcular la magnitud límite*

Las lluvias de meteoros las dividimos según la época del año, y sólo presentamos aquellas que son visibles desde la Península y desde Canarias. En caso de que no sea visible desde alguna región de España se indicará.

La información acerca de los datos de las lluvias se puede obtener en la página web de la organización internacional de meteoros (www.imo.net) o en la página web de la S.O.M.Y.C.E. (Sociedad de Observadores de Meteoros Y Cometas de España):

<http://www.astrored.net/somyce/>

donde el profesor debe cerciorarse de las condiciones, predicciones de actividad y características de la lluvia.

Los datos que a continuación se indican son predicciones y no necesariamente deben ser exactos, al ser estimaciones.



Los campos para el cálculo de la magnitud límite están numerados según la numeración que les asigna la IMO, y al final de este apartado aparecen las tablas para realizar la conversión entre el número de estrellas contabilizadas en el campo (incluyendo las de los vértices) y la magnitud límite correspondiente.

Las imágenes que se dan de los campos, son a título orientativo, y deben ser comprobadas en el periodo de preparación de las observaciones, comprobando las posiciones de los radiantes, campos para la magnitud límite, etc.

Los datos que se dan a continuación tienen la siguiente estructura:

Actividad: fecha en la que la lluvia es activa.

Fecha del máximo: día y hora del máximo en TU. Además damos la fecha del máximo en términos de la posición de la Tierra en su órbita alrededor del Sol, o longitud solar, l_o .

THC = Tasa horaria zenital, número de meteoros registrados en condiciones ideales de observación.

Radiante (máximo): posición del radiante en términos de la ascensión recta y declinación.

Diámetro del radiante (máximo): diámetro aproximadamente del radiante en grados.

V_{∞} = velocidad de entrada de los meteoros en la atmósfera.

r = relación poblacional, que es característica de cada lluvia, y nos da una idea de la magnitud de los meteoros que observaremos.

Campo de Observación : campo en el que se encuentra el radiante

Campo para calcular la magnitud límite: posible o posibles campos para el cálculo de la magnitud límite.

Características: se dan algunas características propias de cada lluvia, descubrimiento, cometa progenitor, etc.

ENERO / FEBRERO

CUADRÁNTIDAS

Actividad: 1 al 5 de enero.

Fecha del máximo: 4 de enero, 0^h TU ($l_0=283.16^\circ$).

THC = 120.

Radiante (máximo): $a = 230^\circ$, $d = +49^\circ$ ($a = 15h 20^m 24^s$, $d = +49^\circ$).

Diámetro del radiante (máximo): 5° .

$V_{\infty} = 41$ km/s

$r = 2.1$

Campo de Observación. El radiante se halla por in-

tersección de la línea que sale de prolongar las tres estrellas alineadas del cazo de la Osa Mayor y la que sale de la prolongación de las dos estrellas que forman la base de la osa menor.



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 4 de enero. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

Campo para calcular la magnitud límite: los posibles candidatos serían los campos 16, 19 ó 3.

Características. El máximo de actividad dura unas pocas horas, y suele ocurrir en horas cercanas al alba, por lo que muchas veces no es visible, dándonos la sensación de que la actividad varía de año en año, a veces llegando a ser casi nula. Se recomienda centrar los esfuerzos en observar la madrugada del 3 al 4, así como en las noches anteriores y posteriores. La actividad será mayor a medida que el radiante de la



lluvia alcance mayor altura. Su progenitor hasta el momento es desconocido. Puede ser un cometa o asteroide no descubierto aún, o se desintegró totalmente, dejando como único rastro los meteoroides cuadrántidos.

LEÓNIDAS

Actividad: 15 de febrero al 10 de marzo.

Máximo: 25 de febrero ($I_0=336^\circ$).

Hora de observación: se observarán durante toda la noche.

THC = 2 .

Radiante (máximo): $a = 168^\circ$, $d = +16^\circ$ ($a = 11\text{ h } 12'$, $d = +16^\circ$).

Diámetro del radiante (máximo): 5° .

$V_{\text{☾}} = 23\text{ km/s}$.

$r = 3.0$.

Campo de Observación. Se observa en la constelación de Leo, en el interior de la *panza* del León.



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 25 de febrero. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

Campo para calcular la magnitud límite: **el campo más idóneo es el 9 (que está en el radiante).**

Características. Es mejor observarla en la primera parte de la noche, ya la Luna molestará mucho para las observaciones en la segunda parte de la noche. Hay que tener en cuenta que la actividad será muy pequeña.

Esta lluvia fue descubierta en el siglo XX por William F. Denning, hacia 1911. Tiene una magnitud promedio de aproximadamente 2.86, y el movimiento diario del radiante se ha estimado $\text{sen } +0.93^\circ$ en ascensión recta y en -0.38° en declinación. El posible progenitor de esta lluvia es el cometa periódico *96P/Maccholz*.



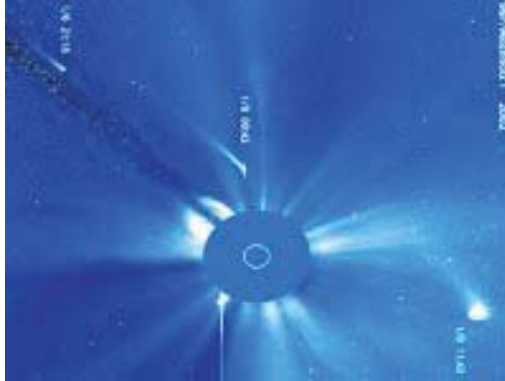


Imagen del cometa 96P/Maccholz tomada por el satélite SOHO (ESA-NASA). (www.astrosurf.com/cometes/)

MARZO / ABRIL

LÍRIDAS

Actividad: 16 al 25 de abril.

Máximo: 22 de abril, 22^h TU ($I_0 = 32.32^\circ$).

THC: 15 (puede ser variable, alcanzando los 90 meteoros por hora).

Radiante: $a = 271^\circ$, $d = 34^\circ$ ($a = 18^\circ 5' 36''$, $d = 34^\circ$).

Diámetro del radiante (máximo): 5° .

$V_{\text{p}} = 49$ km/s.

$r = 2.9$.

Campo de Observación. Se observará en la constelación de la Lyra, aproximadamente a medio camino entre la Lyra y Hércules.



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (Hora local), el día 22 de abril. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

Campo para calcular la magnitud límite: hay varias posibilidades pero los más fáciles de encontrar pueden ser los dados por los números 13, 14 y 15.

Características. Esta lluvia fue descubierta hacia 1835 en EE.UU., tienen una magnitud promedio de aproximadamente 2.5 – 3.3. Está generada al atravesar la estela dejada por el cometa *Thatcher* (C/1861 G1), el cual tiene un periodo de unos 415 años.



Imagen artística del cometa *Thatcher* realizada el 30 de Junio 1861.

PÚPPIDAS

Actividad: 15 al 28 de abril.

Máximo: 24 de abril.

Hora del máximo: 3^h TU ($I_o=33.5^\circ$).

THC: puede alcanzar los 40 meteoros.

Radiante: $a = 110^\circ$, $d = -45^\circ$ ($a = 7h\ 20'$, $d = -45^\circ$).

Diámetro del radiante (máximo): 5° .

$V_\infty = 18$ km/s.

$r = 2.0$.

Campo de Observación. El radiante se sitúa en púpidas.



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (Hora local), el día 24 de abril. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

Campo para calcular la magnitud límite: el campo para el cálculo de la magnitud límite podría ser el 22.

Características. Será visible en muy buenas condiciones en las Islas Canarias. Esta lluvia fue descubierta en 1971 por H. B. Ridley, observando el cometa *26P/Grigg-Skjellrup*, el cual es además el progenitor de esta corriente meteórica. Los meteoros de la lluvia tienen una magnitud promedio de unas 2.33 magnitudes.

MAYO / JUNIO

ACUÁRIDAS

Actividad: 19 de abril al 28 de mayo.

Máximo: 6 de mayo.



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 6 de mayo. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.



Hora del máximo: 11.5^h TU ($l_{\odot}=45.5^{\circ}$)

THZ = 60 (variable en ocasiones).

Radiante (máximo): $a = 338^{\circ}$, $d = -1^{\circ}$ ($a = 22^{\text{h}} 32'$, $d = -1^{\circ}$).

Diámetro del radiante (máximo): 4° .

$V_{\infty} = 66$ km/s.

$r = 2.7$.

Campo de Observación. Se encuentra prolongando la línea que une la estrella que forma la esquina del rombo que se observa en Piscis, apuntando hacia acuario, y la primera estrella que nos encontramos en acuario.

Campo para calcular la magnitud límite: los campos posibles para el cálculo de la calidad del cielo serían el 6 y el 21.

Características. Se observa a poca altura sobre el horizonte. Por tanto la actividad observada es baja, a pesar de ser bastante activa. Además, la Luna permitirá una observación óptima por encontrarse en su fase de luna nueva.

Esta lluvia de meteoros fue oficialmente descubierta en 1870 por el coronel G. L. Tupman. El radiante se desplaza diariamente $+0.96^{\circ}$ en ascensión recta y $+0.37^{\circ}$ en declinación. El cometa que la produce es el *Halley*, posiblemente el cometa más famoso, con un periodo de 76 años.



Imagen del cometa Halley tomada por el JPL de la NASA en 1985.

BÓOTIDAS

Actividad: 26 de junio al 2 de julio.

Fecha del máximo: 27 de junio a las 19:30^h ($l_0=95.7^\circ$).

THZ = Alrededor de 50.

Radiante: $a = 224^\circ$, $d = +48^\circ$ ($a = 15\text{h } 20'$, $d = +48^\circ$).

Diámetro del radiante: 5° .

$V_{\perp} = 18$ km/s.

$r = 2.2$.

Campo de Observación. El radiante se sitúa en la línea que une la estrella que está en la punta del cazo de la osa mayor y la de la punta de la constelación de Bóotes.





Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 27 de junio. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

Campo para calcular la magnitud límite: los campos posibles serían el 1 o el 15, donde el más próximo es el 15.

Características. Fue descubierta el 28 de junio de 1916, desde Inglaterra. Su progenitor es el cometa 7P/Pons-Winnecke, Descubierto en 1819 y que tiene un periodo de unos 6.37 años, aunque por efecto de las perturbaciones de Júpiter sobre su órbita, su periodo se alarga cada vez más.

JULIO / AGOSTO

PEGÁSIDAS

Actividad: 7 de julio al 13 de julio.

Máximo: 10 de julio ($l_0=107.5^\circ$).

THZ = 3.

Radiante: $a = 340^\circ$, $d = +15^\circ$ ($a = 22h 40'$, $d = +15^\circ$).

Diámetro del radiante: 5° .

$V_{\neq} = 70$ km/s.

$r = 3.0$.

Campo de Observación. El radiante se sitúa en línea que une las estrellas de Enif y Markab.



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 10 de julio. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

Campo para la magnitud límite: el mejor campo es el 6 por su proximidad, aunque el 21 también es útil.



Características. No habrá problemas de observación con la Luna, que estará nueva. Esta lluvia es relativamente nueva y no está muy estudiada, faltando mucha información acerca de la misma.

PISCIS AUSTRÍNIDAS

Actividad: 15 de julio al 10 de agosto.

Máximo: 28 de julio ($I_0=125^\circ$).

THZ = 5.

Radiante (máximo): $a = 341^\circ$, $d = -30^\circ$ ($a = 22h 44'$, $d = -30^\circ$).

Diámetro del radiante: 5° .

$V_{\text{☾}} = 35 \text{ km/s.}$

$r = 3.2.$

Campo de Observación. El radiante se sitúa en las proximidades de la estrella más brillante en la constelación de Piscis Austrinus, que es *Formalhaus*.



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 28 de julio. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.



Campo para calcular la magnitud límite: los posibles campos podrían ser el 6 y el 21.

Características. Su descubrimiento se podría atribuir a Alexander S. Herschel el 28 de julio de 1865, cuando descubrió el primero de un conjunto de radiantes que se encuentran en un área muy próxima al radiante de las piscis Austrínidas.

ACUÁRIDAS SUR

Actividad: 12 de julio al 19 de agosto.

Máximo: 28 de julio, ($l_0=125^\circ$).

THC = 20.

Radiante (máximo): $a = 339^\circ$, $d = -16^\circ$ ($a = 22^h 36'$, $d = -16^\circ$).

Diámetro del radiante (máximo): 5° .



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 28 de julio. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

$V_{\perp} = 41 \text{ km/s.}$

$r = 3.2.$

Campo de Observación. El radiante se sitúa en el interior de la constelación de acuario.

Campo para calcular la magnitud límite: los posibles campos para el cálculo de la magnitud límite son los mismos que para el caso de las h Acuáridas, el 6 y el 21. Con el radiante un poco más bajo que en el caso de las anteriormente nombradas.

Características. El desplazamiento diario del radiante se estima en $+0.96^{\circ}$ en ascensión recta y $+0.41^{\circ}$ deg en declinación. Fueron descubiertas en 1870, cuando G. L. Tupman registró la trayectoria de unos 65 meteoros entre el 27 de julio y el 6 de agosto. Se cree que proceden de un cometa único, que probablemente se haya perdido como consecuencia de las perturbaciones con la órbita de Júpiter. Además existe otro filamento con el radiante un poco más al norte que las d Acuáridas sur, que son conocidas como las d Acuáridas norte.

CAPRICÓRNIDAS

Actividad: 3 de julio al 15 de agosto.

Máximo: 30 de julio ($I_0 = 127^{\circ}$).

THC = 4.

Radiante (máximo): $a = 307^{\circ}$, $d = -10^{\circ}$ ($a = 20\text{h } 29'$, $d = -10^{\circ}$).

Diámetro del radiante (máximo): 8° .

$V_{\text{r}} = 23 \text{ km/s}$.

$r = 2.5$.

Campo de Observación. El radiante se sitúa a medio en la línea que une las estrellas extremas de las constelaciones de capricornio y acuario.



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 30 de julio. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

Campo para calcular la magnitud límite: los campos más útiles para el cálculo de la magnitud límite podrían ser el 21 y el 6.

Características. Son meteoros con magnitudes medias de aproximadamente 2.2. Fue descubierta hacia el siglo XIX, cuando N. de Konkoly (Hungría) dibujó seis meteoros en 1871, que se pueden asociar a posi-



bles a Capricórnidas. El progenitor de esta lluvia no está muy claro, habiendo dos candidatos posibles: el cometa *Honda-Mrkos-Pajdusakova (1948 XII)*, o el asteroide *Adonis*, que pasa a una distancia mínima de la tierra de unas 0.01223 U.A.



Imagen del cometa Honda-Mrkos-Pajdusakova obtenida por Tim Puckett en Georgia, el 28 de diciembre de 1995.

PERSEIDAS

Actividad: 17 de julio al 24 de agosto.

Máximo: 12 de agosto ($I_0 = 140^\circ$).

THC = 4.

Radiante (máximo): $a = 46.2^\circ$, $d = 57^\circ$ ($a = 3\text{h } 5' 48''$, $d = 57^\circ$).

$V_{\infty} = 60\text{ km/s}$.

$r = 2.6$.

Campo de Observación. El radiante se encuentra alrededor de la estrella *Mrfak*.

Campo para calcular la magnitud límite: los campos posibles serían los números 2, 18 o el 20.

Características. El radiante tiene un desplazamiento diario dado por $+1.40^\circ$ en ascensión recta y $+0.25^\circ$ en declinación.

Es la más famosa de las lluvias de estrellas. De hecho,



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 12 de agosto. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

ya en los anales chinos del año 36 D.C. ya se habla de ellas. También se las conoce como las *Lágrimas de San Lorenzo*, por aparecer en la misma fecha que la festividad de este Santo. Su progenitor es el cometa *109P/Swift-Tuttle*, el cual tiene un periodo de aproximadamente 2.711 ± 0.284 días.

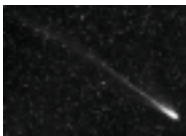


Imagen del cometa 109P/Swift-Tuttle realizada el 15 de diciembre de 2002

ACUÁRIDAS NORTE

Actividad: 11 de agosto a 31 de agosto.

Máximo: 20 de agosto ($I_o = 147^o$).



THZ = 3.

Radiante (máximo): $a = 327^\circ$, $d = -06^\circ$ ($a = 21\text{h } 48'$, $d = -06^\circ$).

Diámetro del radiante (máximo): 5° .

$V_{\text{v}} = 31 \text{ km/s.}$

$r = 3.2.$

Campo de Observación. El radiante se encuentra en el interior de la constelación de acuario.



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 20 de agosto. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

Campo para calcular la magnitud límite: son los mismos que en el caso de las h Acuáridas, el 6 y el 21.

Características. La magnitud de los meteoros producidos es normalmente mayor que 3, y el desplazamiento diario del radiante es $+1.03^\circ$ en ascensión recta y $+0.13^\circ$ en declinación. La primera observa-

ción de las i Acuáridas fue hecha por William F. Denning en los años 1877-1888.

ACUÁRIDAS SUR

Actividad: 25 de julio a 15 de agosto.

Máximo: 4 de agosto ($l_0 = 132^\circ$).

THC = 2.

Radiante (máximo): $a = 334^\circ$, $d = -15^\circ$ ($a = 22h 17'$, $d = -15^\circ$).

Diámetro del radiante (máximo): 5° .

$V_{\text{r}} = 34 \text{ km/s}$.

$r = 2.9$.

Campo de Observación. El radiante se encuentra un poco más al sur que el de las i acuáridas norte.



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 4 de agosto. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.



Campo para calcular la magnitud límite: los campos para el cálculo de la magnitud límite son los mismos que en el caso de las h Acuáridas, el 6 y el 21.

Características. Las características de esta lluvia de meteoros son similares a las de las i Acuáridas norte, pero con desplazamientos diarios del radiante del orden de $+1.07^\circ$ en ascensión recta y $+0.18^\circ$ en declinación.

SEPTIEMBRE / OCTUBRE

AURÍGIDAS

Actividad: 25 de agosto al 5 de octubre.

Máximo: 1 de septiembre.

Hora del máximo: 12^h TU ($l_o = 158.6^\circ$).

THC = 10.

Radiante (máximo): $a = 74^\circ$, $d = +43^\circ$ ($a = 4h 56'$, $d = +43^\circ$).

Diámetro del radiante (máximo): 5° .

$V_{\text{r}} = 66$ km/s.

$r = 2.5$.

Campo de Observación. El campo se encuentra prácticamente sobre la estrella más brillante de Auriga, que es *Capella*.



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 1 de septiembre. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

Campo para calcular la magnitud límite: los campos para el cálculo de la magnitud límite son los 20, 17 y 2.

Características. Tiene un radiante muy amplio, forma parte de otras lluvias. Fue descubierta por Cuno Hoffmeister y A. Teichgraeber (Sonneberg, Alemania) en la noche del 31 de agosto de 1935. Su progenitor es el cometa *Kiess (1911 II)*.

TÁURIDAS SUR

Actividad: 15 de septiembre al 25 de noviembre.

Máximo: 5 de noviembre ($I_0=223^{\circ}$).

THZ = 5.

Radiante (máximo): $a = 52^{\circ}$, $d = +13^{\circ}$ ($a = 3h 28'$, $d = +13^{\circ}$).



Diámetro del radiante \square (máximo): $a = 20^\circ \times d = 10^\circ$.

$V\text{r} = 27 \text{ km/s}$.

$r = 2.3$.

Campo de Observación. El radiante se sitúa entre *Aldebarán* y *Menkar*.



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 5 de noviembre. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

Campo para calcular la magnitud límite: los campos posibles a utilizar serían los campos 4, 8, 22.

Características. El radiante de esta lluvia tiene un desplazamiento diario de $+0.99^\circ$ en ascensión recta y $+0.28^\circ$ en declinación. Las Táuridas sur fueron descubiertas por W. Backhouse (Inglaterra) el 6 de noviembre de 1869. Están asociadas a los restos del cometa *2P/Encke*, descubierto en 1876, que tiene un periodo de unos 3.3 años.



Imagen del cometa Encke tomada el 5 de enero de 1994, en su paso por las proximidades de la Tierra. Imagen tomada por James V. Scotti.



TÁURIDAS NORTE

Actividad: 15 de septiembre al 25 de noviembre.

Máximo: 12 de noviembre ($I_0=230^\circ$).

THC = 5.

Radiante (máximo): $a = 58^\circ$, $d = +22^\circ$ ($a = 3\text{h } 52'$, $d = +22^\circ$).

Diámetro del radiante \square (máximo): $a = 20^\circ \times d = 10^\circ$.

V_∞ = 29 km/s.

r = 2.3.

Campo de Observación. El radiante se sitúa al lado de las Pléyades.



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 15 de noviembre. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

Campo para calcular la magnitud límite: los campos para calcular la magnitud límite son los mismos que en el caso de las Tauridas sur, los campos 4, 8 y 22.

Características. El movimiento diario del radiante se estima en $+0.78^\circ$ en ascensión recta y $+0.19^\circ$ en declinación. Fueron descubiertas en 1869 por Giuseppe Zezioli en Italia. Están asociadas al cometa *2P/Encke* como en el caso de las Tauridas sur.

ORIÓCIDAS

Actividad: 2 de octubre al 7 de noviembre.

Máximo: 21 de Octubre a las 21 horas (hora peninsular) ($l_0 = 208^\circ$).

THZ = 20.

Radiante (máximo): $a = 85^\circ$, $d = +16^\circ$ ($a = 5h 40'$, $d = +16^\circ$).

Diámetro del radiante: 10° .

V_{∞} = 66 km/s.

r = 2.9.

Campo de Observación. El radiante se encuentra en la línea que une *Bellatrix* y *Castor*.

Campo para calcular la magnitud límite: los campos para el cálculo de la magnitud límite son los mismos que en el caso de las Tauridas, los campos 8, 22 y 4.

Características. Fue descubierta por E. C. Herrick. en 1839. Se considera producida por el Halley, cuyo periodo es de 76 años.

NOVIEMBRE / DICIEMBRE



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 21 de octubre. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

LEÓNIDAS

Actividad: 14 al 21 de Noviembre.

Máximo: 18 de noviembre.

Hora del máximo: 02:30 TU ($I_0=235.27^\circ$).

THC > 100.

Radiante (máximo): $a = 152.3^\circ$, $d = +22^\circ$ ($a = 10h 9' 12''$, $d = +22^\circ$).

Diámetro del radiante (máximo): 5° .

$V_\infty = 71$ km/s.

$r = 2.9$.

Campo de Observación. El radiante se encuentra en la *cabeza* del León.





Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 18 de noviembre. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

Campo para calcular la magnitud límite: los campos más útiles, aparte del campo 9, podrían ser también los números 3 y 4.

Características. Esta es probablemente la lluvia de meteoros más estudiada de todas las que se observan a lo largo del año. Fueron descubiertas oficialmente hacia el siglo X, cuando observadores dejaron constancia de *estrellas que parecían caer del cielo*. Por su importancia, en el apartado de *Datos Complementarios* damos información muy extensa de esta lluvia de meteoros.

MONOCERÓTIDAS

Actividad: 15 al 25 de noviembre.

Máximo: 22 de noviembre.

Hora del máximo: 02:45^h TU ($l_0 = 239.32^\circ$).

THZ = normalmente sobre 5, pero puede tener picos mayores de 400.

Radiante (máximo): $a = 117^\circ$, $d = +01^\circ$ ($a = 7\text{h } 48'$, $d = +01^\circ$).

Diámetro del radiante (máximo): 5° .

$V_{\text{r}} = 65 \text{ km/s}$.

$r = 2.4$.

Campo de Observación. El radiante se sitúa muy cerca de *Procyon*, que se halla prolongando la línea imaginaria que une los hombros de Orión.



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 22 de noviembre. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

Campo para calcular la magnitud límite : los campos más recomendables serían el 4, el 8 y el 22.

Características. Su descubrimiento se debe a F. T. Bradley (Crozet, Virginia), que las descubrió la noche del 20 de Noviembre de 1925. Se creen asocia-



das a los restos dejados por el cometa *Gent-Peltier-Daimaca* (1944 I).

c ORIÓNIDAS

Actividad: 26 de noviembre al 15 de diciembre.

Máximo: 2 de diciembre.

Hora del máximo: 20^h TU ($I_0 = 250^\circ$).

THZ = 3.

Radiante (máximo): $a = 82^\circ$, $d = +23^\circ$ ($a = 5^h 28'$, $d = +23^\circ$).

Diámetro del radiante: 8° .

$V_{\infty} = 28$ km/s.

$r = 3.0$.

Campo de Observación. El radiante se sitúa en la cabeza de Orión, en el centro del triángulo formado por las tres estrellas superiores de Orión.



Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 15 de noviembre. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.



Campo para calcular la magnitud límite: los campos posibles a utilizar serían los números 8 y 4.

Características. Esta lluvia fue descubierta hacia 1890 por W. F. Denning.

COMA BERENÍCIDAS

Actividad: 12 de diciembre al 23 de enero.

Máximo: 20 de diciembre, ($l_o=268^\circ$).

THZ = 5.

Radiante (máximo): $a = 175^\circ$, $d = +25^\circ$ ($a = 11h 40'$, $d = +25^\circ$).

Diámetro del radiante (máximo): 5° .

$V_{\text{r}} = 65$ km/s.

$r = 3.0$.

Campo de Observación. El radiante se sitúa en las proximidades del triángulo formado en la parte trasera del León.

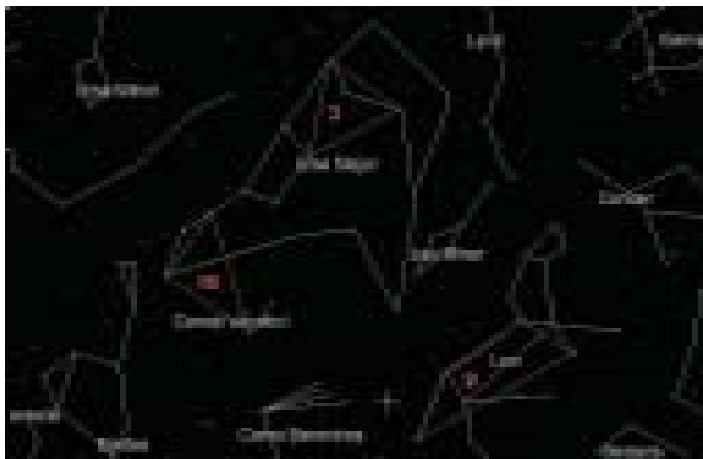


Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 20 de diciembre. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.

Campo para calcular la magnitud límite: los posibles campos para calcular la magnitud límite serían el 16, el 3 y el 9.

Características. La fecha del máximo no se conoce a ciencia cierta, aunque se intuye que se halla hacia mediados de diciembre. Esta lluvia fue descubierta en el marco del proyecto de *detección fotográfica de meteoros de Harvard*, entre los años 1952 – 1954. Su progenitor es el cometa *Lowe*, descubierto en 1912 por un astrónomo aficionado en el sur de Australia.

ÚRSIDAS

Actividad: 17 al 26 de diciembre.

Máximo: 23 de diciembre.

Hora del máximo: 01^h TU ($I_0 = 270.7^\circ$).

THC = 10 (puede variar y superar las 50 meteoros por hora).

Radiante (máximo): $a = 217^\circ$, $d = +76^\circ$ ($a = 14h 28'$, $d = +76^\circ$).

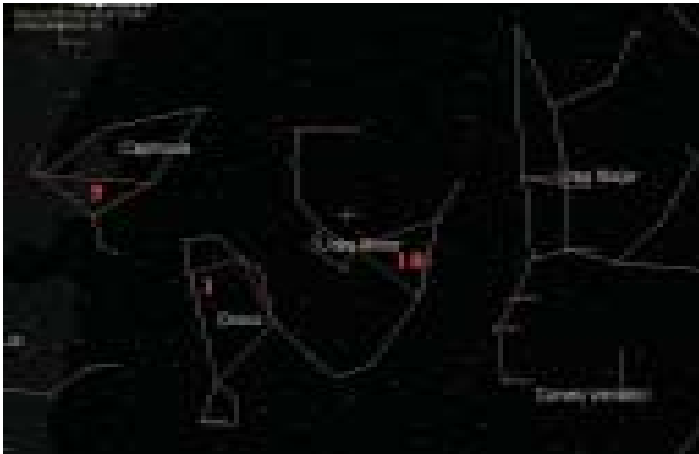
Diámetro del radiante (máximo): 5° .

$V_{\text{r}} = 33 \text{ km/s}$.

$r = 3.0$.

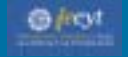
Campo de Observación. El radiante se sitúa en el extremo contrario de la Osa Menor en el que se sitúa la estrella Polar.

Imagen del campo donde se encuentra el radiante de la lluvia en Madrid, a las 12:00 a.m. (hora local), el día 23 de diciembre. La cruz blanca indica dónde se halla aproximadamente el radiante y los triángulos los campos para el cálculo de la magnitud límite.



Campo para calcular la magnitud límite: los campos posibles para el cálculo de la magnitud límite serían los campos 19, 1 ó 7.

Características. El radiante es observable durante toda la noche, por ser circumpolar. Fue descubierta a principios del siglo XX por W.F. Denning. Está asociada al cometa *Mechain-Tuttle*, o simplemente *8P/Tuttle*, que tiene un periodo de unos 13.96 años.



TABLAS DE CONVERSIÓN

Las tablas se presentan según el número de las regiones que se definen para la obtención de la magnitud límite. Las variables que aparecen son las siguientes:

N : número de estrellas que se contabilizan en la región, (incluyendo los vértices).

M_l : magnitud límite correspondiente.

	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	N	M_l	N	M_l	N	M_l	N	M_l	N	M_l	N	M_l	N	M_l	N	M_l	N	M_l	N	M_l
1	3.08	1	3.11	1	3.23	1	3.22	1	3.71	1	2.08	1	3.07	1	0.99	1	1.01	1	1.08	1
2	3.18	2	2.88	2	3.18	2	2.02	2	2.89	2	2.89	2	3.23	2	1.03	2	2.13	2	2.74	2
3	3.37	3	3.02	3	3.65	3	3.01	3	3.37	3	2.84	3	4.07	3	3.00	3	2.23	3	3.39	3
4	3.74	4	3.28	4	3.78	4	3.79	4	4.45	4	4.65	4	4.23	4	4.62	4	4.56	4	4.39	4
5	4.23	5	4.95	5	4.40	5	5.01	5	5.16	5	5.08	5	4.79	5	4.88	5	5.33	5	5.73	5
6	4.78	6	5.13	6	4.56	6	5.07	6	5.33	6	5.49	6	5.13	6	4.93	6	4.81	6	5.20	6
7	4.83	7	5.25	7	4.83	7	5.34	7	5.38	7	5.58	7	5.17	7	5.09	7	4.78	7	5.28	7
8	5.00	8	5.00	8	5.13	8	5.73	8	5.98	8	5.90	8	5.26	8	5.29	8	5.42	8	5.93	8
9	5.08	9	3.79	9	5.16	9	5.76	9	6.02	9	6.13	9	5.29	9	5.43	9	5.44	9	5.97	9
10	5.25	10	5.00	10	5.49	10	5.78	10	6.21	10	6.14	10	5.36	10	5.51	10	5.46	10	5.99	10
11	5.96	11	5.98	11	5.66	11	6.20	11	6.36	11	6.19	11	5.42	11	5.73	11	5.50	11	6.13	11
12	6.06	12	6.01	12	5.72	12	6.37	12	6.71	12	6.25	12	5.73	12	5.94	12	5.58	12	6.41	12
13	6.28	13	6.07	13	5.79	13	6.47	13	6.72	13	6.25	13	5.95	13	6.10	13	5.73	13	6.44	13
14	6.42	14	6.03	14	5.87	14	6.24	14	6.72	14	6.28	14	5.96	14	6.19	14	5.92	14	6.63	14
15	6.50	15	6.41	15	6.19	15	6.67	15	6.80	15	6.29	15	6.00	15	6.27	15	6.14	15	6.64	15
16	6.60	16	6.43	16	6.30	16	6.76	16	6.90	16	6.44	16	6.14	16	6.29	16	6.17	16	6.65	16
17	6.63	17	6.50	17	6.35	17	6.80	17	6.94	17	6.47	17	6.19	17	6.36	17	6.27	17	6.69	17
18	6.65	18	6.51	18	6.41	18	6.99	18	6.96	18	6.50	18	6.23	18	6.50	18	6.27	18	6.83	18
19	6.68	19	6.54	19	6.49	19	7.08	19	7.03	19	6.53	19	6.41	19	6.55	19	6.31	19	6.88	19
20	6.68	20	6.63	20	6.49	20	7.02	20	7.05	20	6.57	20	6.47	20	6.71	20	6.40	20	7.04	20
21	6.68	21	6.61	21	6.54	21	7.10	21	7.06	21	6.59	21	6.48	21	6.76	21	6.45	21	7.05	21
22	6.70	22	6.66	22	6.59	22	7.12	22	7.07	22	6.59	22	6.63	22	6.77	22	6.52	22	7.08	22
23	6.79	23	6.72	23	6.72	23	7.17	23	7.09	23	6.60	23	6.69	23	6.87	23	6.61	23	7.16	23
24	6.86	24	6.73	24	6.77	24	7.22	24	7.10	24	6.63	24	6.73	24	6.93	24	6.64	24	7.19	24



	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
N	M ₁	N	M ₁	N	M ₁	N	M ₁	N	M ₁	N
1	0.18	1	2.61	1	3.52	1	2.23	1	2.80	1
2	2.22	2	2.63	2	3.84	2	2.49	2	3.14	2
3	3.36	3	2.71	3	4.32	3	3.00	3	3.90	3
4	3.04	4	3.55	4	4.34	4	4.05	4	4.82	4
5	2.25	5	3.10	5	4.41	5	4.73	5	3.87	5
6	4.47	6	5.23	6	4.08	6	4.79	6	5.50	6
7	4.51	7	5.39	7	5.42	7	4.94	7	5.67	7
8	4.79	8	5.39	8	3.49	8	5.06	8	5.82	8
9	4.81	9	5.51	9	5.50	9	5.50	9	5.58	9
10	4.93	10	5.52	10	5.72	10	5.98	10	5.98	10
11	5.78	11	5.57	11	5.98	11	5.64	11	6.06	11
12	5.52	12	5.87	12	6.01	12	5.87	12	6.31	12
13	6.67	13	6.25	13	6.03	13	5.91	13	6.36	13
14	5.79	14	6.54	14	6.85	14	6.04	14	6.37	14
15	5.81	15	6.51	15	6.39	15	6.75	15	6.74	15
16	5.88	16	6.52	16	6.37	16	6.29	16	6.34	16
17	5.90	17	6.54	17	6.47	17	6.51	17	6.36	17
18	6.00	18	6.71	18	6.59	18	6.54	18	6.36	18
19	6.10	19	6.85	19	6.82	19	6.58	19	6.45	19
20	6.14	20	6.87	20	6.83	20	6.47	20	6.44	20
21	6.06	21	6.08	21	6.70	21	6.48	21	6.58	21
22	6.13	22	6.95	22	6.88	22	6.60	22	6.66	22
23	6.13	23	6.96	23	6.93	23	6.73	23	6.66	23
24	6.22	24	6.97	24	7.00	24	6.74	24	6.74	24
25	6.75	25	7.04	25	7.01	25	6.85	25	6.78	25
26	6.52	26	7.11	26	7.03	26	6.87	26	6.82	26
27	6.38	27	7.16	27	7.02	27	6.90	27	6.85	27
28	6.38	28	7.16	28	7.03	28	6.96	28	6.87	28
29	6.48	29	7.10	29	7.04	29	7.00	29	6.87	29
30	6.48	30	7.21	30	7.06	30	7.02	30	7.00	30

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N
1	1.25	1	0.28	1	2.09	1	2.07	1	1.87	1
2	2.27	2	2.84	2	2.86	2	3.73	2	2.82	2
3	3.00	3	5.23	3	2.87	3	3.28	3	5.96	3
4	4.06	4	3.82	4	3.81	4	3.92	4	5.86	4
5	4.86	5	4.28	5	5.31	5	4.56	5	5.90	5
6	4.92	6	4.43	6	5.81	6	5.18	6	5.50	6
7	5.54	7	4.43	7	5.95	7	5.04	7	5.84	7
8	5.96	8	4.73	8	6.03	8	5.72	8	5.52	8
9	5.90	9	5.84	9	6.02	9	6.00	9	6.00	9
10	6.20	10	5.49	10	6.04	10	6.14	10	6.09	10
11	6.30	11	5.88	11	7.86	11	6.14	11	6.15	11
12	6.35	12	5.88	12	7.42	12	6.32	12	6.32	12
13	6.59	13	5.88	13	7.99	13	6.18	13	6.41	13
14	6.92	14	5.72	14	7.41	14	6.43	14	6.47	14
15	6.97	15	5.82	15	7.46	15	6.36	15	6.30	15
16	7.05	16	5.98	16	7.46	16	6.28	16	6.36	16
17	7.20	17	5.84	17	7.48	17	6.62	17	6.62	17
18	7.42	18	6.83	18	6.04	18	6.85	18	6.37	18
19	7.45	19	6.12	19	6.62	19	6.80	19	6.80	19
20	7.46	20	6.42	20	7.15	20	6.87	20	6.89	20
21	7.46	21	6.42	21	7.16	21	6.89	21	6.85	21
22	7.50	22	6.52	22	7.16	22	7.11	22	6.85	22
23	6.48	23	6.48	23	7.87	23	6.82	23	6.73	23
24	6.42	24	6.42	24	7.15	24	6.87	24	6.74	24
25	6.44	25	6.44	25	7.14	25	6.82	25	6.73	25
26	6.47	26	6.47	26	7.07	26	6.84	26	6.68	26
27	6.54	27	6.54	27	7.14	27	6.85	27	6.68	27
28	6.48	28	6.48	28	7.16	28	6.80	28	6.70	28
29	6.52	29	6.52	29	7.18	29	6.85	29	6.68	29
30	6.52	30	6.52	30	7.28	30	6.80	30	6.49	30

VOCABULARIO

Anomalía media. Parámetro que determina la posición exacta de un cuerpo en su órbita en un instante dado. Se mide en grados y varía entre 0 y 360°.

Bólido. Meteoro muy brillante, más brillante que cualquier estrella o planeta, es decir, más brillante que magnitud -4. En ocasiones se fragmenta o explota, dando lugar a un espectacular fenómeno luminoso.

Cenit. Punto más alto de la bóveda celeste.

Cometa. Los cometas están compuestos principalmente por hielo y polvo, por lo que se les conoce como «bolas de nieve sucia». Se mueve en el Sistema Solar siguiendo órbitas muy elípticas, con periodos que van de unos pocos a cientos de miles de años. Cuando se acercan al Sol, el calor derrite el hielo cometario y se desprenden gases y partículas de polvo que forman la cola del cometa. La parte sólida de un cometa es el núcleo. Es muy difícil de ver debido a que está rodeado por una densa capa de gases (la coma). La primera fotografía del núcleo del cometa Halley, obtenida por la sonda europea Giotto, reveló que los núcleos son cuerpos de aspecto semejante a los asteroides, con diámetros de pocos kilómetros.

Distancia geocéntrica (D). Distancia de un objeto a la Tierra, generalmente expresada en Unidades Astronómicas.

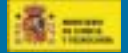
Distancia heliocéntrica (r). Distancia de un objeto al Sol, generalmente en Unidades Astronómicas.

Estela. Trazo de gas ionizado que permanece a lo largo de la trayectoria de un meteorito. Si dura más de varios segundos, se considera estela persistente. Las estelas más largas pueden ser visibles hasta 30 minutos.

Longitud solar (l_0). Parámetro que especifica la posición de la Tierra en su órbita en torno al Sol. Las curvas de actividad de las lluvias de meteoros se expresan normalmente en función de la longitud solar, en vez de la fecha convencional. Una hora de tiempo corresponde aproximadamente a 0.04° de longitud solar.

Magnitud visual. Es la medida del brillo aparente de cualquier objeto celeste con el ojo humano. La escala de magnitudes está establecida de forma que las estrellas más brillantes tienen magnitudes más pequeñas. El Sol tiene aproximadamente magnitud -26, la Luna, -12, Venus, -4, y la estrella más débil que puede observarse a simple vista, 6.0-6.5. La magnitud de los meteoros se determina por comparación con estrellas de magnitud conocida.

Meteoroides. Son las partículas más pequeñas que giran en torno al Sol en el Sistema Solar. La mayoría de ellas son del tamaño de un grano de arena. Los meteoroides no pueden observarse directamente porque son muy pequeños, y sólo se hacen visibles cuando entran en la atmósfera terrestre, dando lugar a un meteorito.



Meteoro. Las estrellas fugaces, o meteoros, son los trazos luminosos producidos por la entrada de una partícula de polvo en la atmósfera terrestre. Estas partículas son liberadas por los cometas cuando se acercan al Sol.

Meteoro esporádico. Meteoro que no pertenece a ninguna lluvia de meteoros concreta.

Meteoros, lluvia de. Las lluvias de meteoros ocurren cuando la Tierra cruza la órbita de un tubo meteórico.

Meteoros, tormenta de. Este raro fenómeno se produce cuando la Tierra se encuentra con un enjambre de meteoros muy denso. Durante una tormenta es posible ver más de 1000 meteoros/hora.

Meteorito. Meteoro suficientemente grande para sobrevivir su paso por la atmósfera y caer sobre la superficie terrestre. A veces forman cráteres.

Nodo descendente. Punto de la órbita de un cuerpo en el cual se atraviesa el plano de la eclíptica.

Periodo. Tiempo que tarda un objeto en completar su órbita en torno al Sol.

Perihelio. Punto de la órbita de un objeto más próximo al Sol.

Plano de la eclíptica. Es el plano de la órbita de la Tierra. Los demás planetas del Sistema Solar siguen órbitas en torno al Sol cuya inclinación con respecto

la eclíptica es de unos pocos grados (excepto Plutón). Sin embargo, los cometas (y lluvias de meteoros que generan) suelen moverse en planos orbitales que tienen cualquier inclinación, a veces hasta 90 grados.

Radiante. El punto del cielo del que parecen venir los meteoros. Esto es debido a un efecto de perspectiva, porque los meteoroides siguen trayectorias paralelas en el espacio.

Tasa Horaria Cenital (THC). Es el número de meteoros registrado por un observador en condiciones óptimas (cielo completamente despejado, magnitud límite 6.5 y radiante en el cenit).

Tiempo Universal. Escala de tiempo muy empleada en Astronomía. En invierno, el tiempo universal coincide con la hora local en Canarias, y con la hora local menos una hora en la Península.

Unidad Astronómica. Unidad de longitud muy usual en Astronomía. Es la distancia media entre el Sol y la Tierra (149 millones de kilómetros).



DATOS COMPLEMENTARIOS

EL ORIGEN DE LAS LLUVIAS DE ESTRELLAS

1. Introducción

En una noche oscura y despejada podemos ver del orden de 10 estrellas fugaces por hora. El origen extraterrestre de las estrellas fugaces, o meteoros, no fue demostrado hasta el año 1800, cuando dos estudiantes alemanes calcularon la altura a la que aparecen en la atmósfera. Hoy sabemos que las estrellas fugaces son producidas por el choque de la Tierra con minúsculas partículas de polvo que los cometas liberan en su acercamiento al Sol. Dichas partículas se mueven en el espacio con velocidades comprendidas entre 10 y 72 km/s siguiendo órbitas elípticas (Figura 1). Al penetrar en la atmósfera terrestre, su energía cinética se transforma en calor por rozamiento y el material meteórico sublima, dando lugar al fenómeno luminoso que conocemos como estrella fugaz. Los meteoros comienzan a emitir luz a unos 100 km de altura sobre la superficie terrestre, y normalmente dejan de verse cuando han alcanzado 60-70 km de altura.

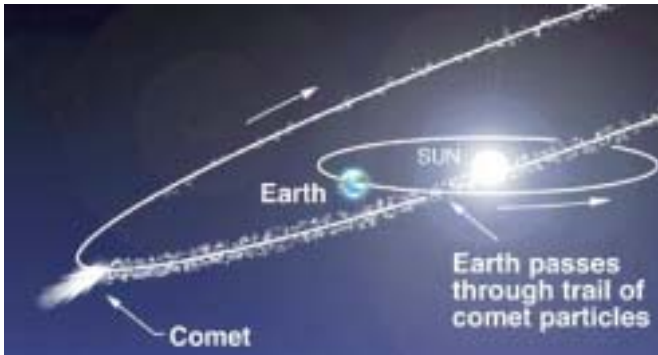


Figura 1. Tubo meteórico creado por un cometa al acercarse al Sol. Las partículas de polvo que libera quedan girando alrededor del Sol y pueden cruzar la órbita de la Tierra, dando lugar a una lluvia de meteoros.

La mayor parte de los meteoros que observamos no guardan ninguna relación entre sí; son llamados esporádicos porque no pueden asociarse a un único cometa generador. En determinadas épocas del año, sin embargo, la Tierra atraviesa filamentos de materia producidos por un mismo cometa. Las partículas que forman estos filamentos dan lugar a lluvias de meteoros. Todos los meteoros de una lluvia parecen proceder de un mismo punto del cielo llamado radiante. Se trata de un efecto de perspectiva similar al que se produce cuando los bordes de una carretera convergen en la lejanía, y se debe a que las trayectorias de las partículas en el espacio son paralelas (Figura 2). Las lluvias de meteoros toman el nombre de la cons-



telación donde se encuentra su radiante. Las Perseidas de agosto, por ejemplo, parecen surgir de la zona norte de Perseo.

La actividad meteórica aumenta considerablemente en los máximos de las lluvias, producidos cuando la Tierra atraviesa la zona más densa de los filamentos. Aunque hoy se conocen unos 50 enjambres anuales, sólo tres (Cuadrántidas, Perseidas y Gemínidas) generan actividades superiores a los 100 meteoros por hora. En este sentido, la lluvia de las Leónidas no destaca especialmente. Su periodo de actividad se extiende entre el 15 y el 21 de noviembre, alcanzando un máximo el 18 de noviembre. En años normales, las Leónidas producen tasas del orden de 10-15 meteoros por hora. El cometa generador de la lluvia, 55P/Tempel-Tuttle, fue descubierto el 19 de diciembre de 1865 y tiene un periodo orbital de 33.2 años (Figura 3).

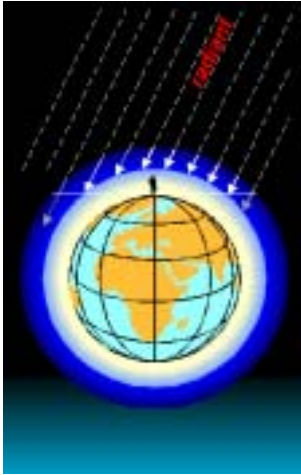


Figura 2. Interpretación geométrica del radiante de una lluvia de meteoros. Las partículas entran en la atmósfera terrestre siguiendo trayectorias paralelas (izquierda). El observador las proyecta sobre el fondo de estrellas y tiene la impresión de que los meteoros parecen surgir de un mismo punto del cielo (derecha). Cortesía International Meteor Organization (izquierda) y Sky and Telescope (derecha)





Figura 3. Cometa Tempel-Tuttle fotografiado el 29 de enero de 1998, un mes antes de su paso por el perihelio, desde el Observatorio de Pic du Midi en los Pirineos franceses.

Gracias a los registros históricos disponibles, sabemos que las Leónidas pueden dar lugar a espectaculares tormentas de meteoros cada 33 años coincidiendo con el paso de 55P/Tempel-Tuttle por el perihelio. Se habla de una tormenta de meteoros cuando la actividad supera los 1000 meteoros por hora. La última tormenta de Leónidas ocurrió el 17 de noviembre de 1966, cuando se registraron unas 100.000 Leónidas por hora durante un corto intervalo de tiempo (Figura 4). Sin embargo, no siempre se producen tormentas de Leónidas cada 33 años. En 1933, por ejemplo, la actividad nunca superó los 200 meteoros por hora.



Figura 4. Fotografía realizada por Scott Murray desde Nuevo Méjico (EE.UU.) la noche del 17 de noviembre de 1966. La foto fue expuesta durante 12 minutos en la zona de la Osa Mayor.

¿Cuáles son los mecanismos físicos que dan lugar a las tormentas de Leónidas? ¿Por qué hay años en los que no ocurren? ¿Podemos predecir si habrá una tormenta o no, y su intensidad? Nuestros conocimientos sobre el origen de las tormentas de Leónidas han sido muy limitados hasta hace poco. En los últimos años, sin embargo, ha habido un avance espectacular gracias al excelente conjunto de datos obtenidos por los observadores de la Organización Internacional de Meteoros. La actividad registrada en 1998 rompió todos los esquemas y ha sido el motor para el desarrollo de modelos numéricos que explican las tormentas de Leónidas con una precisión nunca antes alcanzada.



2. Las tormentas de Leónidas

La lluvia de las Leónidas ha producido tormentas de meteoros al menos desde el año 899. De hecho, las tormentas más espectaculares de los últimos dos siglos son probablemente las de Leónidas de 1833 y 1866 (Figura 5). Los registros históricos disponibles no son muy útiles para caracterizar el nivel de actividad y la posición del máximo de las tormentas por la escasez de observadores y la falta de una metodología de observación adecuada. Además, debe tenerse en cuenta que estimar la actividad cuando aparecen varios meteoros por segundo es realmente difícil. Sin embargo, se han hecho grandes esfuerzos para determinar las características de los retornos de Leónidas de los últimos 200 años.



Figura 5. Representación artística de las tormentas de Leónidas de 1833 (izquierda) y 1866 (derecha). Son dos de los retornos más importantes de la lluvia en los últimos siglos.

En la Tabla 1 se recogen los resultados del análisis presentado por Brown (1999). Esta tabla proporciona datos básicos sobre el momento en el que se produce el máximo, el nivel de actividad, la distancia entre la Tierra y el nodo descendente de la órbita del cometa, la duración del pico de actividad, etc. El momento del máximo se expresa a través de la longitud solar l_0 , variable que indica la posición de la Tierra en su órbita. Aproximadamente, 0.04° de longitud solar equivalen a una hora de tiempo. La actividad máxima se mide en términos de la tasa horaria cenital (THC), que es el número de meteoros que vería un observador normal en condiciones ideales (cielo oscuro, sin nubes, con el radiante en el cenit) durante una hora de observación.

La Tabla 1 indica que en los últimos dos siglos ha habido cuatro grandes tormentas de Leónidas (1799, 1833, 1867 y 1966). Todas ellas ocurrieron en años próximos al paso de 55P/Tempel-Tuttle por su perihelio, con actividades mínimas de 10.000 meteoros por hora (tres por segundo). Una característica notable es que el nivel de actividad en los años inmediatamente anteriores y posteriores a los de tormenta se eleva con respecto a la actividad normal, aunque siempre queda por debajo de 1000 meteoros por hora. En otras palabras: las tormentas, si ocurren, son visibles sólo una vez durante cada periodo orbital de 55P/Tempel-Tuttle. Otra característica muy llamativa es la ausencia de actividad notable en 1898-1899 y 1932-1933. Por regla general, las tormentas más espectaculares se producen una o dos horas *después* de que la Tierra atraviese el nodo de la órbita del cometa, como indican los valores negativos de DI_0 en la Tabla 1.



Año	Máximo (λ_0)	$\Delta\lambda_0$	THC máxima	Duración (horas)	Edad (rev)	Δa_0 (UA)	$a-r_0$ (UA)	λ_0 (grados)
1799	232.8	0.23	30.000	4	3	-0.24	0.0018	232.84
1821	232.97	0.67	60	-	1	-0.44	0.0014	233.16
1832	233.2	-0.09	2.000	días?	1	-0.24	0.0014	233.17
1853	233.15	-0.02	60.000	5	1	-0.04	-0.0002	233.15
1854	232.77	0.47	60	7	1	0.16	-0.0017	233.18
1863	232.8	0.49	150	-	1	-0.24	0.0072	233.32
1866	233.34	-0.05	8.000	4	4	0.06	-0.0004	233.33
1867	233.423	-0.13	>12.000	>5	1	0.15	-0.0002	233.42
1868	234.2	-0.91	400	>7	1	0.35	0.0011	234.06
1868	234.3	0.33	50-100	24?	3	0.10	-0.0006	233.54
1869	234.0	0.63	20-50	12?	3	-0.18	0.0126	234.98
1901	233.828	0.80	250	>7	3	-0.02	0.0096	233.85
1903	234.05	0.58	>150	7	-	-	-	-
1930	235.3	-0.22	100-140	>4?	3	-0.32	0.0019	235.39
1931	235.0	0.08	150	8	1	-0.25	0.0065	235.09
1952	234.6	0.48	>70	>12	1	-0.15	0.0060	235.09
1953	234.97	0.58	50	24	1	0.06	0.0054	235.15
1954	235.2	-0.12	50-60	24	1	0.25	0.0040	235.50
1964	235.6	-0.47	50	24	1	-0.30	0.0018	235.22
1965	234.59	0.58	>120	48	1	-0.10	0.0013	235.13
1966	235.16	-0.03	100.000	12	2	-0.05	-0.0002	235.16
1967	234.9	0.23	40	-	1	0.30	0.0012	235.13
1968	235.65	-0.52	110	3	2	0.17	-0.0017	235.44
1969	235.28	-0.15	300	7	1	0.93	-0.00005	235.27
1994	235.8	-0.54	100	14	-	-	-	-
1995	235.5	-0.24	15	7	-	-	-	-
1996	235.17	0.09	90	2	1	-0.47	0.0009	235.20
1997	235.22	0.06	100	3	1	-0.27	0.0005	235.26
1998	235.208	-0.01	180	2	2	-0.13	0.0010	235.27
1999	235.285	0.01	3700	>1	3	0.14	-0.0007	235.30
2000	236.250	-	480	-	4	0.11	0.0008	236.28
2001	236.458	-	1430	10	4	0.14	0.0002	235.46
2002	236.89	-	2441	>10	4	0.17	0.0000	236.89

Tabla 1. Características de las Leónidas desde 1799 hasta nuestros días. El momento del máximo se indica en longitud solar I_0 (equinoccio J2000.0). DI_0 representa la distancia entre el nodo descendente del cometa y la Tierra en el momento del máximo (expresada en grados de longitud solar). La THC (tasa horaria cenital) es el número de meteoros que un observador habría visto durante una hora en condiciones ideales. La segunda parte de la tabla ofrece información sobre los filamentos de materia más próximos a la Tierra según el modelo de Asher. La edad de cada uno de los filamentos se indica en revoluciones orbitales del cometa bajo la sexta columna. Δa_0 es la diferencia entre el semieje mayor inicial de los

meteoroides y el del cometa en el momento de la eyección. $r_E - r_D$ representa la distancia entre la Tierra y el filamento cada año.

No es sorprendente que el nivel de actividad de las Leónidas no sea igual en todos los pasos por el perihelio, ya que el periodo del cometa no es un número entero de años y, por tanto, la configuración Tierra-cometa no se repite en retornos sucesivos. Además, la distancia entre las órbitas de la Tierra y del cometa cambia ligeramente con el tiempo, con lo cual la Tierra nunca atraviesa la misma zona del enjambre de Leónidas. Estas tendencias se observan con mayor claridad en la Figura 6, donde se consideran las condiciones geométricas del encuentro de la Tierra con las Leónidas. El eje vertical representa la distancia en Unidades Astronómicas (UA) entre la órbita del cometa y la Tierra medida en la dirección del Sol, mientras que el eje horizontal indica el intervalo de tiempo transcurrido entre los pasos del cometa y la Tierra por el nodo descendente de la órbita de 55P/Tempel-Tuttle. Cada punto de la figura representa un año con actividad elevada de Leónidas según los registros históricos disponibles, y su tamaño indica la actividad observada. La Figura 6 revela que las mayores tormentas ocurren cuando 55P/Tempel-Tuttle ya ha pasado por su nodo descendente, es decir, las partículas tienden a concentrarse *detrás* del cometa. Además, la densidad de partículas es mayor en la dirección opuesta al Sol porque la presión de la radiación solar las “arrastra” hacia el exterior en periodos de tiempo relativamente cortos.

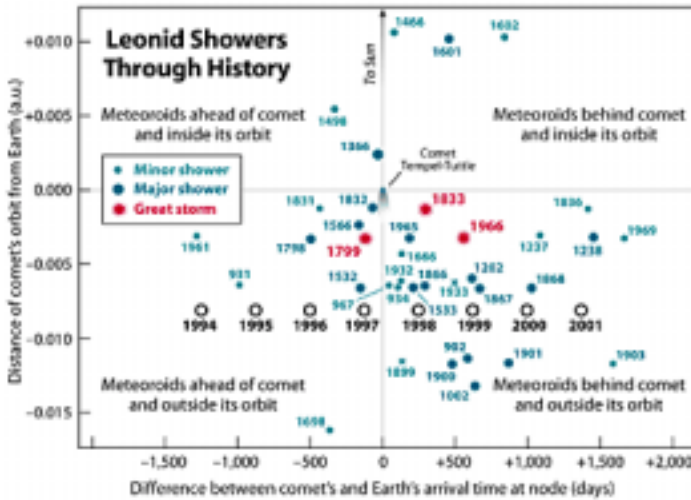


Figura 6. Representación de las condiciones geométricas del encuentro de la Tierra con la órbita del cometa Tempel-Tuttle en diferentes años. Las grandes tormentas se indican con puntos rojos. Cortesía Sky & Telescope.

Hoy sabemos que el enjambre de las Leónidas está formado por al menos tres componentes. El primero origina la actividad anual observada en la Tierra y es muy viejo (las partículas de polvo han tenido tiempo para dispersarse a lo largo de toda su órbita). El segundo componente se observa varios años antes y después de que el cometa alcance el perihelio. Es ancho y origina un aumento de la actividad que dura varios días, como ocurrió en 1969 y 1998. Está for-



mado por partículas masivas (estrellas fugaces muy brillantes). Estos dos filamentos se denominan clio-Leónidas. El tercer componente, responsable de las tormentas de Leónidas, es muy denso pero estrecho. Se trata de meteoroides jóvenes y poco masivos (orto-Leónidas) que no han tenido tiempo de dispersarse a lo largo de toda la órbita.

Las predicciones sobre la actividad de las Leónidas en años de posible tormenta se han basado fundamentalmente en diagramas como el de la Figura 6. La geometría del encuentro no era favorable para que ocurriera una lluvia muy intensa en 1998. Lo mismo cabe decir de las Leónidas de 2002. De hecho, la mínima distancia entre la Tierra y la órbita del cometa en 1998-1999 iba a ser mucho mayor de la que hubo en 1966, por lo cual se esperaba que la densidad de partículas fuera bastante más pequeña. La actividad registrada en 1998, sin embargo, sorprendió a todos. Aunque no se detectaron tasas muy altas, el máximo se adelantó un día con respecto a las predicciones más fiables, con THC's del orden de 350 meteoros por hora. La característica más sobresaliente del retorno de las Leónidas en 1998 fue la presencia de meteoros muy brillantes, indicando la existencia de partículas masivas en el filamento de materia que la Tierra cruzó ese año (Figura 7). Nadie se esperaba una actividad tan elevada de clio-Leónidas, aunque el componente de tormenta produjo un máximo secundario de 180 meteoros por hora en la posición prevista.

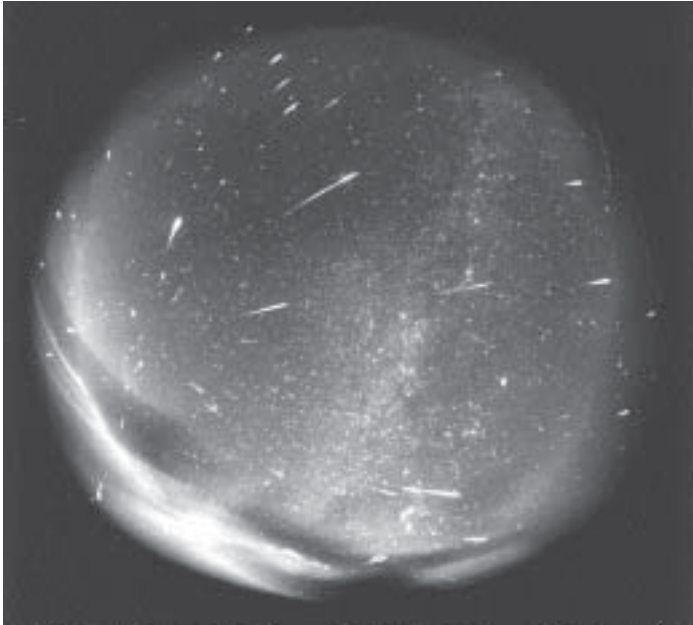


Figura 7. Fotografía de todo el cielo realizada en la noche del 16 al 17 de noviembre de 1998 durante 4 horas. En el negativo se aprecian unos 160 meteoros, todos más brillantes que magnitud -2. Cortesía del Observatorio Astronómico y Geodésico de Eslovaquia.

En los días posteriores al máximo de 1998 los científicos empezaron a investigar el origen esta actividad inusual. ¿Qué determina que unos años las clio-Leónidas sean muy activas y otros apenas muestren actividad? Responder a esta pregunta implicaba mejorar mucho nuestro conocimiento sobre los mecanismos físicos que desencadenan las tormentas de



Leónidas. En marzo de 1999, Asher y colaboradores presentaron un modelo que explica convincentemente la actividad observada en 1998. Además, el modelo permite predecir si habrá un estallido de actividad en un año determinado. La idea básica es estudiar la geometría del encuentro, no entre la Tierra y el cometa, sino entre la Tierra y los meteoroides. Ya que las partículas de polvo liberadas por 55P/Tempel-Tuttle siguen órbitas ligeramente distintas a la del cometa, cualquier predicción basada en éstas debe ser mejor que las obtenidas directamente a partir de la órbita de 55P/Tempel-Tuttle.

3. Mecanismos de eyección y evolución orbital

Los núcleos cometarios, descritos por Whipple como “bolas de nieve sucia”, son conglomerados de hielo y polvo. Estos gigantes icebergs permanecen inactivos durante la mayor parte de su vida. Sin embargo, al acercarse al Sol se calientan y sus gases subliman, arrastrando consigo minúsculas partículas de polvo atrapadas en el núcleo. Estos meteoroides quedan libres en el espacio moviéndose en órbitas parecidas (aunque no exactamente iguales) a las del cometa generador.

La sonda Giotto demostró que la mayor parte de la superficie del núcleo del cometa Halley permanecía inactiva al aproximarse al Sol. El gas se libera en forma de chorros que surgen de regiones muy definidas expuestas a la radiación solar. Se trata de un fenómeno violento que no ocurre en la cara oscura del núcleo (Figura 8). Los meteoroides escapan de la influen-

cia gravitatoria del núcleo, siendo arrastrados por el gas. En este proceso, las partículas más pequeñas alcanzan velocidades terminales más grandes. Jones (1995) demostró que la velocidad final de los meteoroides depende de su masa según la ley v a $m^{-1/6}$. Así pues, el núcleo emite partículas de polvo con un amplio rango de velocidades, pero en direcciones muy concretas.



Figura 8. Núcleo del cometa Halley fotografiado por la sonda Giotto en marzo de 1986. La mínima distancia entre la sonda y el cometa fue de 600 km. El núcleo es irregular, con dimensiones de 15x8x8 km. Nótese que la eyección de gases y polvo ocurre en la cara iluminada, dando lugar a chorros de materia dirigidos hacia el Sol. Cortesía European Space Agency.



Nada más escapar del núcleo, los meteoroides forman una especie de tubo de materia muy denso como los descubiertos por el satélite infrarrojo IRAS detrás de los cometas de corto periodo (Figura 9). Sus diámetros típicos son del orden de 30.000 km (unas 2.5 veces el diámetro de la Tierra) a una unidad astronómica del Sol. Dependiendo del contenido en polvo del cometa, los filamentos de materia generados en cada paso por el perihelio son más o menos densos.

Los tubos meteóricos creados por 55P/Tempel-Tuttle tienen una densidad diez veces menor que el límite de detección del satélite IRAS, pero aun así son capaces de producir lluvias de 100.000 meteoros por hora. Si la Tierra pudiera atravesar el tubo del cometa Tempel 2, por ejemplo, ¡observaríamos tormentas de más de un millón de meteoros por hora!

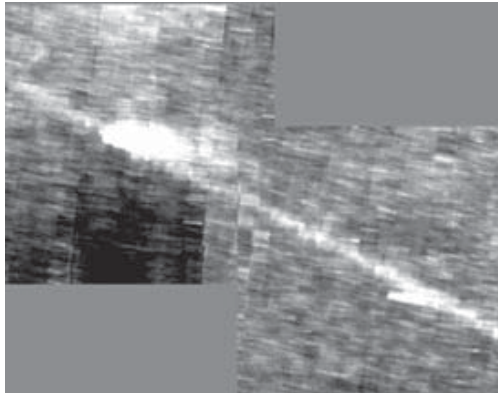


Figura 9. Tubo meteórico creado por el cometa Tempel 2 (la mancha brillante de la izquierda). El tubo meteórico es la banda que cruza la fotografía de iz-

quiera a derecha. Imagen obtenida por el satélite infrarrojo IRAS.

La trayectoria del cometa generador determina completamente, junto al vector velocidad, la órbita inicial de cada meteoróide. En particular, el semieje mayor de la órbita de un meteoróide diferirá ligeramente del semieje mayor del cometa dependiendo de la velocidad de eyección (ver Figura 10). Por la segunda ley de Kepler, sus periodos orbitales también serán distintos. La trayectoria de cada partícula se determina integrando numéricamente las ecuaciones de movimiento, en las que se incluyen los nueve planetas y parámetros que dan cuenta de efectos no gravitatorios. De hecho, la evolución de las órbitas meteóricas está controlada básicamente por dos mecanismos: las perturbaciones planetarias y la presión de radiación. Cuando un meteoróide se acerca mucho a un planeta, su órbita es perturbada fuertemente y su comportamiento pasa a ser caótico. Los encuentros cercanos ocurren con poca frecuencia, por lo que sólo son importantes tras largos periodos de tiempo. El segundo mecanismo, la presión de la radiación solar, afecta principalmente a los meteoroides más pequeños, dispersándolos a lo largo de todo el tubo meteórico. Este mecanismo actúa en escalas de tiempo mucho más pequeñas y disminuye la densidad inicial de partículas de manera efectiva.



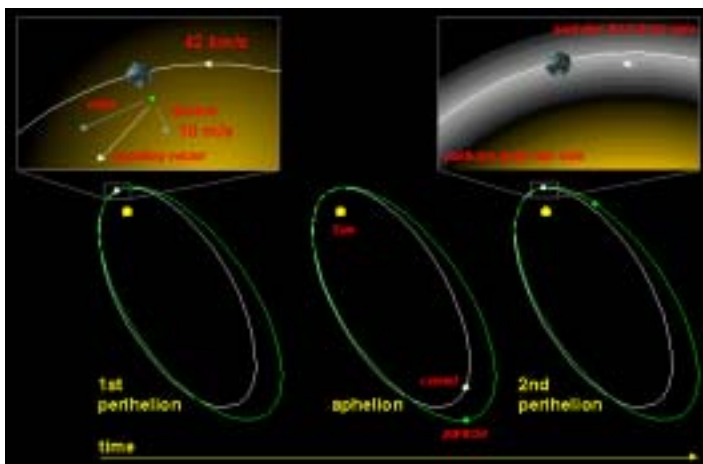


Figura 10. Evolución de una partícula emitida por el núcleo cometario con una velocidad inicial de 10 m/s en dirección al Sol. Su vector velocidad es ligeramente distinto al del cometa. La partícula adquiere más energía y se mueve en una órbita con un semieje mayor más grande. Tras un periodo orbital del cometa, llega al perihelio con retraso respecto al cometa (derecha). Cortesía International Meteor Organization.

La idea fundamental del modelo de Asher y colaboradores es que sólo algunos de los meteoroides eyectados por el núcleo de 55P/Tempel-Tuttle son capaces de cruzar la trayectoria de la Tierra en el momento adecuado para producir una tormenta. Si se supone que la eyección ocurre en el perihelio dentro de un rango de velocidades, es posible encontrar las condiciones de eyección que aseguran una tormenta y la edad de los meteoroides que la producen. La gran actividad observada cada 33 años in-

dica que la densidad de los filamentos que la Tierra atraviesa es muy alta. Después de muchos periodos orbitales, el filamento producido por el núcleo cometario en un retorno dado tiende a dispersarse, con lo que su densidad inicial disminuye. En otras palabras: para producir una tormenta es necesario que los filamentos de materia sean jóvenes. Por tanto, basta considerar varios pasos previos de 55P/Tempel-Tuttle por el perihelio. En la práctica, Asher y colaboradores consideran los seis retornos previos del cometa (200 años) antes de un estallido de actividad.

Existe un mecanismo dinámico que permite mantener (e incluso aumentar) la densidad inicial del tubo meteórico durante periodos de tiempo muy largos: los movimientos resonantes con Júpiter. Las resonancias con Júpiter ocurren cuando el periodo orbital de un cuerpo es una fracción simple del periodo orbital de Júpiter (por ejemplo, $2/3$, $5/6$, $4/11$, ...). Las órbitas resonantes son muy estables frente a las perturbaciones gravitatorias de los planetas. Cualquier partícula inyectada en una resonancia permanecerá en ella durante mucho tiempo, manteniendo sus elementos orbitales prácticamente inalterados. La densidad en este *corredor* puede aumentar si el cometa inyecta más partículas en él cada vez que pasa por el perihelio. Pero, ¿son posibles las órbitas resonantes en el caso de las Leónidas? La respuesta es sí. Desde hace tiempo se sabe que 55P/Tempel-Tuttle se encuentra en resonancia $5/14$ con Júpiter. Las partículas emitidas por el núcleo con velocidades muy pequeñas tendrán órbitas similares a las del cometa y serán, por tanto, resonantes. Estas partículas perma-



necen en la resonancia durante siglos hasta que la presión de radiación las expulsa. Mientras esto ocurre, la densidad de materia se hace cada vez mayor, pudiendo producir una tormenta si la Tierra atraviesa dicha región. Se ha sugerido que las resonancias son responsables de los estallidos de actividad de algunas lluvias, como las Líridas, las Táuridas y las Perseidas.

En resumen: las tormentas de Leónidas tienen dos orígenes claramente diferenciados. Por una parte, el encuentro de la Tierra con filamentos de materia muy densos y jóvenes (varios periodos orbitales del cometa generador) producidos por 55P/Tempel-Tuttle en acercamientos previos al Sol. Por otra parte, el encuentro de la Tierra con filamentos mucho más viejos pero igual de densos gracias a su movimiento resonante con Júpiter. Estos dos mecanismos dan lugar a lluvias muy distintas, como veremos a continuación.

4. Resultados de los modelos numéricos

Ya se ha dicho que para identificar los meteoroides responsables de los estallidos de actividad de las Leónidas hay que integrar sus ecuaciones de movimiento y buscar, por prueba y error, las condiciones de eyección que aseguran el choque con la Tierra en un momento determinado. Para que una partícula penetre en la atmósfera terrestre es necesario que se encuentre en una posición muy concreta de su órbita en el instante del choque. Esto se traduce en tres condiciones básicas: 1) la distancia heliocéntrica debe ser igual a la distancia Sol-Tierra; 2) la órbita del

meteoroides debe cortar el plano de la eclíptica en la longitud solar adecuada; y 3) el meteoroides debe encontrarse en el nodo descendente de su órbita en el momento del impacto (es decir, su anomalía media debe tener un valor determinado). La primera condición es muy restrictiva en el sentido de que no vale cualquier distancia Sol-meteoroides. La distancia Sol-Tierra, del orden de 1 UA, es muy grande comparada con el tamaño de la Tierra (0.000043 UA). Si la separación entre los meteoroides y la Tierra es mayor que 0.000043 UA no se producirá ningún impacto.

En general, es difícil satisfacer simultáneamente las tres condiciones anteriores excepto cuando los meteoroides son emitidos por el núcleo con un vector velocidad determinado. Consideremos primero el estallido de actividad de 1998. Asher y colaboradores han demostrado que la Tierra encontró un filamento de meteoroides resonantes el 17 de noviembre de 1998. Estos meteoroides fueron emitidos por el cometa 55P/Tempel-Tuttle en el año 1333 con velocidades de 4 m/s en sentido opuesto al movimiento del cometa. Dicha velocidad hizo que el semieje mayor inicial de las partículas fuera -0.024 UA más pequeño que el de 55P/Tempel-Tuttle, llevando a los meteoroides a una resonancia 5/14 con Júpiter. La Tierra, 665 años después, colisionó con estas partículas. El modelo predice que el máximo ocurriría en $l_0 = 234.5^\circ$, mientras que las observaciones indican $l_0 = 234.308^\circ$. El acuerdo es excelente, sobre todo considerando que la máxima actividad tuvo lugar un día antes (un grado de longitud solar antes) de que la Tierra atravesara el plano orbital del cometa. Según



Asher y colaboradores, la solución encontrada para explicar la actividad de 1998 es única, en el sentido de que no existe otra combinación de velocidades iniciales/retorno del cometa que satisfaga las tres condiciones necesarias para un impacto.

Este modelo explica sorprendentemente bien la abundancia de meteoros brillantes observada en 1998. De hecho, cabe esperar que las partículas resonantes sean masivas porque, para ser inyectadas en la resonancia 5/14 con Júpiter, es necesario que sus órbitas iniciales sean muy parecidas a la del cometa generador (que ya se encuentra en resonancia). Cuanto más pequeña es la velocidad de eyección, más similares son las órbitas de los meteoroides y del cometa. De acuerdo con la ley de Jones, las partículas grandes tienen velocidades terminales más pequeñas, exactamente lo que se necesita para inyectarlas en la resonancia. En otras palabras: el filamento resonante sólo contenía meteoroides grandes desde el principio. Además, al tratarse de un filamento viejo, la presión de radiación ha tenido tiempo de sacar las pocas partículas pequeñas que en él hubiera.

El mecanismo dinámico que explica la actividad de 1998 también puede estar involucrado en la lluvia de bólidos que se observó en 1965 (con tasas horarias superiores a 120 meteoros/hora), así como en las tormentas de 1799 y 1832. En cualquier caso, todavía es necesario investigar estas hipótesis con más profundidad.

De manera similar, Asher demostró que la tormenta de 1833 fue producida por un filamento joven generado por el núcleo cometario en el año 1800 (es decir, sólo una revolución antes). La diferencia entre los semiejes mayores de la órbita inicial de los meteoroides y la del cometa tuvo que ser $Da_0 = -0.04$ UA para que las partículas colisionaran con la Tierra en 1833. El momento previsto del máximo difiere del observado en 45 minutos, aunque muy probablemente el error es observacional porque el pico de actividad de 1833 está mal definido. En ese año, los meteoroides se acercaron a sólo -0.0003 UA de la Tierra.

La gran tormenta de 1966 fue producida por un filamento algo más viejo: 2 revoluciones orbitales anteriores (1899). Los meteoroides eyectados con $Da_0 = -0.05$ UA en 1899 se acercaron a sólo -0.0002 UA de la Tierra durante 1966. La diferencia entre el instante del máximo predicho y el observado es extraordinariamente pequeña, del orden de minutos, lo que da gran credibilidad a este modelo. Para otros años, los filamentos que probablemente generaron la actividad observada se indican en la segunda parte de la Tabla 1.



BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS WEB

La mayor parte de la información que el profesor necesitará para preparar las clases se encuentra en Internet. Hay libros muy buenos sobre los cuerpos menores del Sistema Solar, pero algunos están en inglés y es probable que no se encuentren en la biblioteca del centro.

Recomendamos las siguientes direcciones:

Vistas del Sistema Solar (<http://www.etsimo.uniovi.es/solar/span>)

En español. Una magnífica introducción al Sistema Solar, con mucha información e imágenes. El tratamiento de cometas y asteroides es particularmente bueno. Puede ser utilizado por los alumnos para la búsqueda de información. Es probablemente la mejor fuente de información para el profesor.

The Nine Planets (<http://hermite.cii.fc.ul.pt/np/nineplanets/nineplanets.html>)

Estas páginas ofrecen un recorrido muy interesante por los cuerpos del Sistema Solar, incluyendo imágenes de alta calidad. Por desgracia, sólo está disponible en inglés (aunque quieren preparar una versión en español). Junto a *Vistas del Sistema Solar*, estas páginas son las más útiles para el profesor.

Proyecto LEÓNIDAS 1999 (<http://www.iac.es/educa/leo99/>)

Es especialmente recomendable la sección de enlaces, donde se comentan algunos sitios de interés donde conseguir imágenes sobre meteoros e información adicional.

International Meteor Organization (<http://www.imo.net>)

Páginas dedicadas al observador de meteoros, contienen mucha información sobre las técnicas que deben emplearse para la observación. Tiene una sección de observaciones fotográficas que puede resultar de interés, así como un formulario para enviar datos sobre bólidos (meteoros más brillantes que magnitud -2).

SOMYCE (<http://www.iac.es/AA/SOMYCE/somyce.html>)

Páginas de la Sociedad de Observadores de Meteoros y Cometas de España. Contiene información algo especializada sobre las Leónidas. En español. Pueden ser interesantes las secciones de cometas y meteoros. En esta página es posible consultar algunos resultados observacionales de las Leónidas en 1998.



Sky & Telescope (<http://www.skypub.com>)

Una de las publicaciones de divulgación de Astronomía con más prestigio. Ha dedicado varios artículos a la lluvia de las Leónidas que pueden consultarse directamente. En inglés. El apartado de cometas es muy interesante.

Existen varios libros útiles para recabar información sobre los cuerpos menores del Sistema Solar. Hemos clasificado estos libros en dos niveles: básico y especializado.

Básicos:

Estos libros son adecuados para ampliar conceptos de Astronomía general. Algunos incluyen cartas celestes con las constelaciones visibles en cualquier época del año. Casi todos pueden encontrarse en buenas librerías.

Guía de campo de las estrellas y los planetas de los hemisferios Norte y Sur. D. H. Menzel, J. M. Pasachoff. Segunda Edición. Editorial Omega.

Sin duda, la mejor guía del firmamento en lengua española. Incluye capítulos introductorios muy claros y concisos, así como cartas del cielo mensual para el reconocimiento de constelaciones. También tiene un maravilloso atlas del firmamento diseñado por el artista Wilt Tirion. Sin embargo, es algo caro.

Observar el cielo I. David H. Levy. Editorial Planeta

Un bonito libro muy bien ilustrado y fácil de leer. Incluye cartas de identificación de las constelaciones. Es ideal para introducir a los alumnos en la astronomía, debido a su claridad y espectaculares y actualizadas imágenes. Sin embargo, los capítulos son algo breves y no contienen mucha información.

Guía Celeste Mensual. I. Ridpath y W. Tirion.

Libro destinado al reconocimiento de las constelaciones. Contiene una colección de cartas celestes para cada mes del año e instrucciones para su manejo. Sus puntos fuertes son su módico precio y que incluye cartas diseñadas por Wil Tirion (el mago de las cartas celestes), pero es preferible un planisferio a mitad de precio.

Astrofotografía, manual de técnicas del amateur. Patrik Martinez, Editorial Omega.

Libro algo técnico que introduce al lector en el mundo de la fotografía astronómica. Se aconsejan sólo los capítulos de introducción, donde se explican los principios de la fotografía astronómica sin telescopio, siempre que el profesor tenga interés por esta disciplina.



Especializados:

The New Solar System, cuarta edición, Beatty, Petersen y Chaikin (1999)

Publicado por Sky Publishing Corporation (la empresa editora de Sky and Telescope) y Cambridge University Press, es el libro sobre el Sistema Solar que todos deberíamos leer. Proporciona una visión actual y completa de nuestro sistema planetario. Muy bien ilustrado. En inglés.

Manual para la observación visual de meteoros, Bellot Rubio (1995)

Editado por SOMYCE, explica la metodología de las observaciones de meteoros. Incluye un introducción sobre las lluvias de meteoros y las características de los enjambres anuales. En español. Puede pedirse a través de la página de SOMYCE.

Handbook for visual meteor observers, Rendtel, McBeath y Arlt (1996)

Manual de la Organización Internacional de Meteoros (IMO). Contiene una buena introducción sobre las lluvias de meteoros, con descripciones de sus características principales. Es un libro muy barato (menos de 12 euros) de gran utilidad para el profesor y los alumnos. En inglés. Puede pedirse a través de la página WEB de IMO.

El Cometa, C. Sagan y A. Druyan

Libro escrito por el conocido científico americano. Se preparó con ocasión de la visita del cometa Halley en 1986. Proporciona información muy valiosa sobre los cometas, con gran cantidad de datos históricos. Resalta el papel que han jugado en las distintas civilizaciones. Muy recomendable para los alumnos.

Rendez-vous in space, Chapman.

Libro muy ameno que resume nuestros conocimientos actuales sobre la física de los cometas, incluyendo los resultados obtenidos en la campaña de observación del cometa Halley. También presta atención a los aspectos históricos. Puede ser útil para los alumnos si se consigue.



PRESENTACIÓN	3
OBJETIVOS	5
CONCEPTOS	5
PROCEDIMIENTOS	6
ACTITUDES	6
GUIÓN DIDÁCTICO	7
ACTIVIDADES	16
ACTIVIDAD 1: LOCALIZACIÓN DE LAS CONSTELACIONES	16
1. USO DEL PLANISFERIO Y RECONOCIMIENTO DE CONSTELACIONES	17
2. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL CIELO	18
ACTIVIDAD 2: SIMULACIÓN DE UNA LLUVIA	21
Procedimiento	22
ACTIVIDAD 3: OBSERVACIÓN DE LOS METEOROS	26
ACTIVIDAD 4: REDUCCIÓN DE LOS DATOS	30
1. ORDENACIÓN DE LAS OBSERVACIONES	33
2. CÁLCULOS	34
CÁLCULOS THC EN LA WEB	36
ACTIVIDAD 5: FOTOGRAFÍA	37
ACTIVIDAD 6. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS METEOROS	41
LLUVIAS DE METEOROS A LO LARGO DEL AÑO	44
ENERO / FEBRERO	46
MARZO / ABRIL	50
MAYO / JUNIO	53
JULIO / AGOSTO	57
SEPTIEMBRE / OCTUBRE	66
NOVIEMBRE / DICIEMBRE	70
TABLAS DE CONVERSIÓN	78
VOCABULARIO	80
DATOS COMPLEMENTARIOS	84
EL ORIGEN DE LAS LLUVIAS DE ESTRELLAS	84
BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS WEB	108