

---

## Cálculo Astronómico 2018-9 UAM

### OBJETIVOS, REQUISITOS, ESTRUCTURA y GUÍA de las UNIDADES

---

#### OBJETIVOS

Este curso está orientado al aprendizaje de técnicas computacionales de mecánica celeste y de métodos matemáticos de la astronomía aplicados a la generación de efemérides y fenómenos astronómicos, sobre todo las relacionadas con cuerpos del Sistema Solar. En particular, se estudian métodos para calcular la salida y puesta de los astros por el horizonte, para localizar un astro en el cielo a una hora determinada, para predecir eventos astronómicos como fases lunares, acercamientos planetarios, ocultaciones lunares, eclipses, etc., y simulaciones para otros planetas.

En el curso también se estudian aplicaciones más generales o conceptuales en mecánica celeste y teoría de órbitas, así como técnicas de simulación, integración numérica, etc. Aparte de la orientación astronómica, el curso también puede resultar de interés como ampliación de asignaturas de grado y posgrado de física, matemáticas, química e ingeniería relacionadas con la mecánica, el cálculo numérico y la programación. El curso se dirige por tanto a estudiantes de grado y posgrado de físicas, matemáticas, química, a ingenieros informáticos o similares, y a otras personas interesadas en el tema.

El curso transcurre en dos niveles, A y B, que se desarrollan paralelamente. El nivel A corresponde al material teórico, y en él se perfilan los conceptos básicos de cada módulo, que posteriormente el alumno desarrollará en la escritura de códigos de ordenador. En este nivel se introducen la teoría, los conceptos y la metodología con ayuda de Presentaciones en forma de vídeos complementados con tutorías online y/o presenciales. En el nivel B, y con ayuda del material disponible, el alumno desarrolla algoritmos y códigos en su ordenador.

El objetivo final del curso es que cada estudiante vaya creando, a lo largo del curso, su propia librería de rutinas astronómicas en el lenguaje de su elección y para su equipo.

#### REQUISITOS

Los requisitos para seguir el curso están expuestos en la página web del curso. Se requiere: gran interés por la astronomía; conocimientos básicos de álgebra, vectores y matrices, y de trigonometría; conocimientos básicos de cálculo diferencial, sobre todo de una variable; conocimientos básicos de mecánica de Newton; y saber programar en algún lenguaje (fortran, C, c++, java, python, matlab, etc.) Es también deseable poseer nociones de astronomía básica, aunque no estrictamente imprescindible.

## ESTRUCTURA

El curso está organizado en unidades, de manera jerárquica. Por lo tanto:  
**es imprescindible seguir las unidades paso a paso y en orden.**

Cada unidad contiene:

- a) una Guía, con los objetivos y la lista de rutinas a desarrollar,
- b) diversas Presentaciones, donde se exponen los conceptos y la estructura de las rutinas,
- c) datos para la comprobación de las rutinas,
- d) una bibliografía y material adicional si es el caso.

La unidad 0 es atípica: contiene prolegómenos, Presentaciones sobre conceptos básicos de astronomía y material de repaso, y una bibliografía. Aquellos estudiantes ya familiarizados con la astronomía puede echar un vistazo rápido a los prolegómenos y saltar a la unidad 1.

## MATERIAL ADICIONAL

Junto con el material disponible en la página web, los alumnos dispondrán de un **cuaderno de efemérides, fenómenos y datos** para el año 2019, que servirá para contrastar los resultados de las rutinas e inspirar posibles proyectos para los trabajos de fin de curso (ver sección CALIFICACIÓN).

## CÓMO SEGUIR EL CURSO

Para seguir con éxito el curso hay que respetar el orden de las unidades propuestas y, dentro de cada unidad, el orden de las actividades y rutinas indicadas. Cada unidad se desarrolla durante un periodo de una o dos semanas, de acuerdo al calendario publicado, al cabo de las cuales el alumno debería haber preparado y comprobado las rutinas de esa unidad. Para ello, **en cada unidad**, habrá que pasar por los siguientes puntos, en orden:

- a) **Guía de la unidad.** El alumno deberá primero leer la guía de esa unidad, y comprender sus objetivos y la lista de rutinas a desarrollar.
- b) **Presentación nivel A.** A partir del día en el que se abra la unidad, el alumno deberá estudiar la Presentación conceptual (nivel A) de la unidad, apoyándose en el libro de texto y el material bibliográfico disponible si es el caso. El acceso a estas Presentaciones caducará una vez finalizado el curso, pero se podrán consultar durante el mismo.
- c) **Presentación nivel B.** Posteriormente, el alumno estudiará la Presentación de rutinas (nivel B), en la que se explican las rutinas que hay que escribir en esa unidad, junto con la estructura sugerida para las variables de entrada y salida.

- d) **Escritura de rutinas.** El alumno comenzará a escribir las rutinas, en el orden indicado en la guía y siguiendo las indicaciones de la Presentación.
- e) **Comprobación de rutinas.** *No conviene pasar a una rutina antes de haber comprobado las anteriores.* Para ello, en cada unidad habrá que hacer uso del cuaderno de efemérides, fenómenos y datos para la comprobación de las rutinas.

## TUTORÍAS

El profesor Enrique Velasco ([enrique.velasco@uam.es](mailto:enrique.velasco@uam.es)) se encontrará permanentemente disponible para cualquier tipo de duda a través del correo electrónico durante el tiempo de duración del curso. También se atenderán dudas por teléfono dentro de los horarios habituales y dependiendo de la disponibilidad del profesor. Asimismo, se podrán organizar tutorías personalizadas presenciales o a través de hangout de google a petición del estudiante.

## NOTIFICACIONES

Cualquier notificación relacionada con el curso se realizará por correo electrónico a todos los alumnos a través de una lista de correo.

## CALIFICACIÓN

La calificación final del curso se calculará como suma de dos partes. En la primera se valorará la participación del alumno en las tutorías, la programación de códigos a lo largo del curso y los resultados obtenidos con los códigos, y contribuirá con un 70%. El alumno deberá entregar periódicamente, a petición del profesor, un informe de resultados relativos a circunstancias planteadas por éste. La segunda parte calificará los cuatro trabajos finales que realizará el estudiante, cuyas temáticas se elegirán a partir de una lista de programas sugeridos, o bien a partir de un tema planteado por el estudiante, que convalidará total o parcialmente esos cuatro trabajos (por ejemplo, en el caso de que el estudiante proponga un trabajo, este trabajo podría convalidar uno, dos, tres o incluso, si el trabajo tiene cierta entidad, los cuatro trabajos obligatorios). El trabajo se realizará durante el mes de junio de 2019 (aunque se podrá elegir trabajo a partir del día 1 de mayo), y los resultados, que contribuirán a la calificación final con un 30%, serán remitidos al profesor en un plazo comunicado con antelación.

## GUÍA DE LAS UNIDADES

### UNIDAD 0. PROLEGÓMENOS. REPASO DE ASTRONOMÍA BÁSICA.

**Fechas:** 3-16 diciembre 2018.

En esta unidad se realiza un repaso de algunos aspectos informáticos importantes para la realización del curso, así como un repaso de temas fundamentales de representación de números, precisiones y formatos en un ordenador. Además, se hace un repaso extenso de astronomía básica, con conceptos elementales de astronomía de relevancia para el cálculo astronómico. Aunque se disponga de conocimientos de informática y astronomía, conviene hacer un repaso de esta unidad.

### UNIDAD 1. SISTEMAS DE REFERENCIA: ESPACIO Y TIEMPO.

**Fechas:** 3 diciembre 2018-6 enero 2019.

En esta unidad introducimos una de las herramientas matemáticas más importantes del curso, en la que se basan gran parte de los cálculos del curso: los sistemas de referencia y las transformaciones entre sistemas de referencia. Además, se explican los conceptos relacionados con la medida y uso del tiempo. Por último, se introduce el sistema de referencia terrestre como el sistema básico que caracteriza la posición de un observador terrestre y que, en la siguiente unidad, se liga a los sistemas de referencia celestes usados en astronomía.

### UNIDAD 2. SISTEMAS DE REFERENCIA ASTRONÓMICOS.

**Fechas:** 7-20 enero 2019.

En esta unidad se introduce el sistema de referencia astronómico más importante, el sistema de referencia ecuatorial. Posteriormente se definen otros sistemas de referencia que también juegan un papel esencial en astronomía: el sistema eclíptico, el sistema horizontal y el sistema galáctico. Se mencionan asimismo otros sistemas que se utilizarán en la Unidad 9. Además, se establecen las transformaciones para pasar de un sistema de referencia a otro. Finalmente, se introducen las transformaciones de precesión y nutación entre sistemas ecuatoriales y eclípticos referidos a distintas fechas.

### UNIDAD 3. EFEMÉRIDES PLANETARIAS. EFEMÉRIDES DE LA LUNA

**Fechas:** 21 enero-3 febrero 2019.

En esta unidad se discuten métodos para implementar efemérides planetarias y lunares con distintos grados de precisión. Se comienza desarrollando la solución del problema de dos cuerpos gravitatorio en términos de órbitas cónicas, introduciendo los elementos osculadores para los planetas. A continuación se realiza una introducción a la teoría de perturbaciones, discutiendo su efecto sobre los elementos orbitales y detallando el método para la obtención de efemérides planetarias de baja precisión en el sistema de referencia ecuatorial. Se discute asimismo la implementación de efemérides de alta precisión basadas en integraciones numéricas, válidas para los planetas y la Luna. Finalmente, se menciona un método para obtener efemérides lunares de baja precisión.

#### **UNIDAD 4. EFECTOS SOBRE LA POSICIÓN DE UN ASTRO**

**Fechas:** 4 febrero-17 febrero 2019.

En esta unidad se desarrollan los métodos para corregir las posiciones de los astros (cuerpos del Sistema Solar y estrellas) por los efectos del tiempo de luz y la aberración de la luz, tanto en baja como en alta precisión, y se detallan los pasos necesarios para obtener las coordenadas aparentes de los astros. También se discute el efecto de la refracción atmosférica sobre la posición topocéntrica de un astro.

#### **UNIDAD 5. PROBLEMAS DE GEODESIA Y NAVEGACIÓN ASTRONÓMICA**

**Fechas:** 18 febrero-3 marzo 2019.

En esta unidad discutimos la forma de la Tierra, su campo de gravedad, y los modelos para la superficie de la Tierra: el elipsoide de referencia y el geoide, así como su relación. Además, aprendemos a calcular la posición de un lugar sobre la superficie de la Tierra, y discutimos métodos astronómicos para obtener la posición de un lugar sobre la superficie de la Tierra, ya sea en tierra firme o en el mar, con el objetivo de obtener las coordenadas geodésicas y geocéntricas del lugar.

#### **UNIDAD 6. SATÉLITES NATURALES DE PLANETAS Y CUERPOS MENORES**

**Fechas:** 4 marzo-17 marzo 2019.

En esta unidad se discute el cálculo de la posición de asteroides y cometas a partir de los elementos orbitales publicados en las fuentes especializadas. Asimismo, se mencionan métodos para el cálculo de efemérides de satélites naturales de planetas, con especial énfasis en los satélites galileanos de Júpiter.

#### **UNIDAD 7. CÁLCULO DE FENÓMENOS BÁSICOS**

**Fechas:** 18 marzo-31 marzo 2019.

En esta unidad se introducen en primer lugar los métodos numéricos para el cálculo de ceros de funciones y sus derivadas, que es la técnica esencial que se usa en este curso para el cálculo de fenómenos. Como aplicaciones sencillas de estas técnicas aprenderemos a calcular las horas de ortos y ocasos locales del Sol, la Luna, los planetas y las estrellas, así como otros fenómenos, como las máximas elongaciones de los planetas interiores, los máximos acercamientos, las conjunciones y oposiciones, el comienzo de las estaciones, las fases de la Luna, etc.

#### **UNIDAD 8. ECLIPSES, OCULTACIONES Y OTROS FENÓMENOS**

**Fechas:** 1 abril-14 abril 2019.

En esta unidad aprenderemos a calcular diferentes fenómenos relacionados con la ocultación de un cuerpo por otro, observada desde un tercero. Comenzaremos con la ocultación de estrellas y asteroides por la Luna vista desde un observador terrestre, así como las ocultaciones de estrellas por la Luna. Posteriormente calcularemos las circunstancias en las que ocurren los eclipses de Sol y Luna, detallando un método para el cálculo de las circunstancias geocéntricas de un eclipse de Luna. Finalmente, detallaremos un método para la predicción de fenómenos en el sistema galileano, en el

que tienen lugar eclipses, ocultaciones, tránsitos y sombras.

## **UNIDAD 9. EFEMÉRIDES FÍSICAS DE CUERPOS DEL SISTEMA SOLAR**

**Fechas:** 15 abril-28 abril 2019.

En esta unidad se discuten diferentes cálculos necesarios para caracterizar físicamente a un cuerpo del Sistema Solar. En concreto, se aprenderá a calcular el semidiámetro, la magnitud y el ángulo de fase. Asimismo, se elaborarán procedimientos para calcular los parámetros necesarios para obtener la orientación del disco aparente del cuerpo (polos, ecuador y meridiano central), y la posición de un punto sobre el cuerpo con coordenadas planetocéntricas conocidas. Estos procedimientos se aplicarán a los planetas, el Sol, la Luna y los satélites naturales de los planetas.

## **UNIDAD 10. CATÁLOGOS Y ANUARIOS ASTRONÓMICOS**

**Fechas:** 29 abril-12 mayo 2019.

En esta unidad aprenderemos a utilizar las herramientas proporcionadas por *vizier*, una plataforma online del Observatorio de Estrasburgo que dispone de una inmensa base de datos de catálogos estelares. Asimismo discutiremos los recursos disponibles en la plataforma online del IMCCE, del Observatorio de Paris, y las bases de datos orbitales del Minor Planet Center de la IAU. Finalmente, haremos un repaso a las fuentes de efemérides astronómicas con más tradición, tanto en España (Anuario Astronómico del Observatorio Nacional, Efemérides Astronómicas del Real Observatorio de la Armada), como fuera de España (Astronomical Almanac, Connaissance des Temps).

## **UNIDAD 11. PROGRAMACIÓN DE APLICACIONES GRÁFICAS**

**Fechas:** 13 mayo-26 mayo 2019.

En esta unidad discutimos algunos ejemplos de representaciones gráficas de datos astronómicos y métodos generales de realizar gráficos y figuras. Ejemplos concretos son: posiciones planetarias heliocéntricas y geocéntricas, fases de la Luna, aspecto físico de Sol, Luna y planetas, mapas celestes en distintas proyecciones, aspecto del cielo desde un lugar particular, posiciones de satélites de Júpiter y Saturno, cartas de eclipses de Luna y ocultaciones de estrellas, etc.