

## **Plan de Ciencias Físicas:**

**Licenciatura en Ciencias Físicas - Orientación Física**

**Licenciatura en Ciencias Físicas - Orientación Astronomía**

**Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera**

# 1) MARCO GENERAL

## 1.1 Introducción

Los planes de estudios de las Licenciaturas en Ciencias Físicas se plantean en sustitución y superación del plan de estudio 1992 de la Licenciatura de Física y su opción de Astronomía y de la revitalización de la orientación hacia Ciencias de la Atmósfera (en un marco totalmente diferente al que funcionó en el pasado). Este nuevo plan se inscribe en el marco de la política de desarrollo de la Física y de las potencialidades de empleo de la misma en diferentes áreas del conocimiento y actividades. Conservando el objetivo de dotar a los estudiantes de una sólida formación en Física este plan pretende impulsar la vinculación de los diversos Licenciados en Ciencias Físicas con diferentes sectores de la actividad nacional, como ser de la enseñanza, de instituciones y organismos, de la salud y de la industria entre otros.

En la reformulación del plan de estudios del año 1992 que acompañó el proceso de creación de la Facultad de Ciencias, teniendo en cuenta que la Física es una disciplina básica para todas las áreas de la ciencia, se presentaba a todas las Licenciaturas y opciones, que se sirven de ella, una visión esencialmente fenomenológica y unificada de un conjunto de temas que la resuman adecuadamente.

En aquella oportunidad en que la Facultad implementó los créditos y flexibilizó las carreras estimulando los movimientos horizontales entre ellas, en Física se adoptaron estas modalidades.

La formación obtenida con el plan 92 permitió el desarrollo y el progresivo afianzamiento de postgrados en Física y Astronomía, logrando asimismo aliviar la Licenciatura de asignaturas, dejando ciertos temas para ser tratados en Maestría y Doctorado.

Es una tendencia internacional cada vez mayor la participación de los físicos en diferentes disciplinas y nuestros físicos y nuestro país no deben quedar ajenos a ello. A partir de las bases establecidas por el plan 92, este nuevo plan se plantea esencialmente crear las condiciones para una mayor inserción de los físicos en las diferentes áreas de la actividad nacional donde sea necesario el empleo de la Física. Para ello el nuevo plan se organiza de forma que permita al estudiante elegir entre diferentes opciones de Licenciaturas cuya base son las Ciencias Físicas, asegurándose en todas ellas una sólida formación básica en Física. El plan comprende tres titulaciones en el área de Ciencias Físicas que son: Física, Astronomía y Ciencias de la Atmósfera, pudiéndose incorporar en el futuro otras opciones como Física Médica.

## 1.2 Descripción de puntos básicos generales

A continuación se describen brevemente los puntos básicos generales en los cuales se apoya el nuevo plan.

- A partir de una base común en Ciencias Físicas, el plan comprende tres titulaciones con orientaciones en: Física, Astronomía y Ciencias de la Atmósfera. Cada una de ellas permitirá al estudiante tener una formación específica con una sólida base en Física. La Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera es una nueva titulación y será llevada adelante en conjunto por la Facultad de Ciencias y la Facultad de Ingeniería, con responsabilidades compartidas. Se respetarán los lineamientos y mecanismos comunes con las otras orientaciones, buscando además la horizontalidad y bases comunes con las carreras de Ingeniería (FI). Los perfiles y fundamentos de cada orientación se especifican en cada una de ellas más adelante.

-Desde los primeros semestres el estudiante podrá cursar asignaturas específicas de la orientación elegida. De esta forma se incentivarán las motivaciones ya bien definidas que pueda poseer el estudiante desde los primeros semestres.

-La existencia de un fuerte y amplio tronco común en Física, además de asegurar una sólida formación básica permite al estudiante sin mayores dificultades ni retrasos cambiar de orientación en el transcurso de su formación, dándole un buen grado de flexibilidad a la formación del licenciado.

-Se mantiene el sistema de *créditos* por *áreas temáticas*, que constituyen la estructura básica de la Licenciatura en sus diferentes orientaciones. Se adopta el sistema de créditos recientemente aprobado por el CDC para su generalización en toda la Universidad de la República. El plan permite un número altamente significativo de créditos en asignaturas optativas a los efectos de permitir una mayor diversificación en el perfil del licenciado. En general, los cursos optativos comenzarán a tomarse a partir de los primeros semestres de la Licenciatura y cada estudiante contará con la orientación de un docente para su selección.

-Se tiende a mantener la separación curricular de las actividades experimentales y teóricas en las diferentes orientaciones. Dicha separación permitirá diferenciar desde el inicio estas dos actividades, que requieren de un entrenamiento específico aunque naturalmente vinculado.

-El plan está diagramado en diferentes orientaciones para que el Licenciado posea al finalizar sus estudios una formación específica que le permita *iniciar* su vida profesional en alguna actividad que comprenda esa área. Asimismo el plan tiene en cuenta la posibilidad ya consolidada de realizar estudios de postgrados en varias áreas de Física y Astronomía y además pretende sentar las bases para iniciar esta formación en las áreas que aún no la poseen como por ejemplo Ciencias de la Atmósfera y en un futuro Física Médica.

-Este plan supone la existencia de cursos básicos en Física General (cursos de servicio), que sirvan a todos los que requieran de una primera aproximación esencialmente conceptual y fenomenológica a la Física, buscando dar una visión totalizadora de los aspectos más salientes de esta disciplina y vinculándola con las otras áreas del conocimiento.

- La Comisión Coordinadora Docente de Ciencias Físicas se ocupará de los aspectos comunes y generales de la ejecución del plan, así como de los aspectos específicos de las Orientaciones Física y Astronomía. Para los temas específicos de la Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera se constituirá una Comisión designada de común acuerdo entre la Facultad de Ciencias y la Facultad de Ingeniería. La misma será cogobernada y sus decisiones deberán ser de común acuerdo entre ambas facultades. Esta Comisión aprobará el plan de créditos de cada estudiante, las asignaturas específicas de Ciencias de la Atmósfera con sus previaturas, y en general coordinará la ejecución del plan en esta orientación.

## 2) ESTRUCTURA GENERAL DEL PLAN

El plan se estructura mediante actividades a desarrollar en cuatro años, en cursos principalmente semestrales. Se establece un sistema de “créditos” y “áreas temáticas”. El plan de estudios se organiza en grandes “**áreas temáticas**” que corresponden a un sector del conocimiento de la ciencia, sus aplicaciones o actividades integradoras (talleres, trabajos especiales, pasantías; que introducen al estudiante a las tareas que desarrollará una vez egresado). Las “áreas temáticas” incluyen un conjunto de actividades ligadas (por ejemplo a través de varias asignaturas) de la temática específica. El número de créditos **mínimos** asignado a cada área temática determina el tiempo **mínimo** de dedicación total que a dicho conjunto temático se da en la Licenciatura (o en una orientación particular). El número y tipo de áreas temáticas, así como su tiempo mínimo de dedicación a través de una cantidad dada de créditos, definen la estructura del plan de estudios (y también las diferencias entre las orientaciones) ***La unidad de medida del avance y finalización de la carrera es el crédito, unidad que tiene en cuenta las horas de trabajo que requiere una asignatura para su adecuada asimilación durante el desarrollo del curso correspondiente, incluyendo en estas horas las que corresponden a clases y trabajo asistido, y las de trabajo estrictamente personal. Un crédito equivale a quince horas de trabajo entendido de esta manera.***

El número mínimo total de créditos para todas las orientaciones de la Licenciatura se fija en 360 (lo que corresponde a una asignación aproximada de 45 créditos por semestre o una dedicación promedio de 4,5 horas diarias de docencia directa y otro tanto de trabajo personal para el estudiante).

La secuencia de créditos que el estudiante va generando a medida que avanza en la carrera se establece mediante un sistema de previaturas y una propuesta concreta de implementación de las áreas temáticas que se debe ofrecer, contemplando las pautas de este Plan.

El plan de créditos en asignaturas optativas de cada estudiante debe ser aprobado por la Comisión Coordinadora Docente, a efectos de poder garantizar la inclusión de asignaturas de profundización y amplitud temática. Esta Comisión asignará a cada estudiante un tutor que lo orientará en la elección del plan de optativas a seguir según el perfil elegido por el estudiante.

Debe diferenciarse claramente la propuesta de implementación (conjunto de asignaturas y actividades acreditables ofrecidas cada año) con el Plan de estudios (estructura y pautas que aquellos deben cumplir). En este sentido, es posible incluir cambios o ajustes en la implementación sin que esto implique un cambio de Plan. Estos ajustes deben ser compatibles con lo establecido en el Plan sobre el contenido y créditos de las áreas temáticas.

La Comisión Coordinadora Docente de las Licenciaturas en Ciencias Físicas seguirá y coordinará la ejecución del plan, y elaborará el sistema general de previaturas sujeto a su aprobación por la Comisión del Instituto y del Consejo de Facultad; así como las previaturas específicas de las Orientaciones Física y Astronomía..

La Comisión Coordinadora Docente aprobará las asignaturas u otras actividades acreditables, que deberán incluir: objetivo, programa temático y bibliografía, metodología de enseñanza, procedimiento de evaluación que se utilizará para su aprobación, prerrequisitos exigidos o recomendados para cursarla y aprobarla, etc., así como también los créditos correspondientes y área temática a la que pertenece.

En ítem 5) se especifican las áreas temáticas que componen el presente Plan, así como los requisitos en créditos respectivos. El Anexo I muestra un ejemplo de conjunto de asignaturas para cada área temática que se podrá ampliar y/o modificar.

Las asignaturas u otras actividades acreditables son elegidas por el estudiante, cumpliendo con los mínimos requeridos por cada área temática de modo de constituir un conjunto que posea una profundidad y coherencia adecuadas. Esto se asegura mediante la aprobación del currículo por parte de la Comisión Coordinadora Docente.

## **2.1 INGRESO**

Se podrá ingresar a la Licenciatura en Ciencias Física en cualquiera de sus Orientaciones cumpliendo los siguientes requisitos:

- Bachillerato Diversificado con una Matemática en el último año.
- Bachillerato tecnológico de UTU con una Matemática en el último año.
- Bachillerato técnico de UTU en Mecánica Automotriz, Mecánica General, Electrónica o Electrotecnia.
- Profesorado del IPA en Astronomía, Física o Matemática
- Egresados de la Escuela de Meteorología del Uruguay con el título de Meteorólogo Clase II
- Se podrá evaluar la incorporación de nuevas orientaciones de bachillerato que tengan razonable equivalencia con las anteriores, sujeto a la aprobación de Consejo de Facultad.

### • 3) TÍTULOS

Todos los estudiantes que completen un total de al menos 360 créditos, reúnan los mínimos por áreas temáticas según la Orientación Física y que tengan su currículum aprobado, recibirán el Título de Licenciado en Ciencias Físicas Orientación Física otorgado por la Facultad de Ciencias.

Todos los estudiantes que completen un total de al menos 360 créditos, reúnan los mínimos por áreas temáticas según la Orientación Astronomía y que tengan su currículum aprobado, recibirán el Título de Licenciado en Ciencias Físicas Orientación Astronomía otorgado por la Facultad de Ciencias.

Todos los estudiantes que completen un total de al menos 360 créditos, reúnan los mínimos por áreas temáticas según la Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera y que tengan su currículum aprobado, recibirán el Título de Licenciado en Ciencias de la Atmósfera otorgado por la Facultad de Ciencias y la Facultad de Ingeniería.

## **4) ORIENTACIONES**

### **4.1 Licenciatura en Ciencias Físicas - Orientación Física**

#### **Fundamentación**

La Física evoluciona rápidamente y se ha asistido a un siglo XX donde se ha sufrido una revolución científica y tecnológica donde la Física ha estado en los primeros lugares, interrogándose e interpeándose y reconstruyéndose continuamente.

Iniciamos este siglo XXI, con nuestra región y nuestro país con necesidades más acuciantes de estar integrada al desarrollo de la ciencia internacional y en particular de la Física. Nuestra Facultad de Ciencias desde su creación ha realizado grandes esfuerzos por el avance y desarrollo de Ciencia en nuestro país.

En particular en Física se han dado grandes pasos, y hoy en día se puede decir por ejemplo que desde la creación de la Facultad de Ciencias donde prácticamente no había físicos de nivel de postgrado, hoy contamos en nuestro Instituto con más de 23 doctores en Física, la mayoría de ellos comenzados a formar en nuestra Licenciatura y ya varios con su formación doctoral realizada en nuestra Institución. La producción científica en Física ha crecido en forma remarcable desde la creación de la Facultad de Ciencias, destacándose en forma notable a nivel internacional muchos de nuestros investigadores. Varios grupos de investigación han consolidado sus líneas de trabajo e integración tanto en áreas teóricas como en áreas experimentales produciendo resultados científicos de alcance internacional.

Si bien desde la creación de la Facultad de Ciencias el balance en el desarrollo de la Física es positivo se debe continuar en el esfuerzo de mejorar el nivel de nuestros egresados y superar algunos aspectos para crecer mejor y más rápidamente.

A partir del plan 92, la Licenciatura se ha visto aliviada de materias que han pasado a los cursos de Maestría y Doctorado. Estas formaciones de postgrado están alcanzando la madurez en varias áreas. A pesar de ello son pocos los licenciados en la Orientación Física por año, aquí se debe ajustar los programas de algunas materias e incentivar más a los estudiantes a avanzar en su formación acercándose más personalmente a ellos.

El plan actual de la Orientación Física es adecuado en general en cuanto al tipo, cantidad y nivel de las materias que se dictan para formar solidamente un físico en los aspectos básicos y prepararlo para iniciar sus estudios más profundos que lo lleven a la investigación en Física. Nuestros licenciados presentan actualmente un currículo que está más adecuado a los estándares internacionales y bien adecuados regionalmente. Sin embargo existen carencias en algunos aspectos como por ejemplo en la formación experimental y en la interacción de la Física con otras disciplinas científicas.

En consecuencia este nuevo plan de la Orientación Física de la Licenciatura de Ciencias Físicas no sufre prácticamente modificaciones superestructurales. Reubica algunas materias a partir del quinto semestre como Teoría Electromagnética y Mecánica Estadística e introduce Probabilidad Estadística, herramienta matemática de importancia tanto en Física teórica como experimental. Clarifica el contenido de materias como Física de la Materia I y II, sustituyéndolas por Física del Estado Sólido y Física de los Fluidos. Intentando superar carencias en la formación experimental se adecuan los programas de los laboratorios, incluyendo más formación en electrónica, más uso de instrumental científico y se proponen experiencias donde el estudiante pueda tener bastante iniciativa. Por otro lado la existencia de las Orientación de Astronomía, de la nueva Orientación de Ciencias de la Atmósfera y próximamente de la Orientación de Física Médica contribuirá a dinamizar la interacción de la Física

con varias disciplinas como por ejemplo la Biología, la Química y diferentes Ingenierías lo que seguramente creará sinergias muy fértiles entre aspectos básicos y aplicados de la Física.

## **Perfil del egresado con Orientación en Física**

El egresado en la Orientación Física de la Licenciatura en Ciencias Físicas tendrá una sólida formación en Física que le permitirá estar en condiciones de optar por varios caminos según su vocación. Podrá o desarrollar su actividad en el ámbito educativo o en el ámbito profesional en actividades industriales, en instituciones, en el área de la medicina entre otras; estando capacitado para emplear el área de la Física que le sea requerida. También podrá definir su orientación hacia un área específica de la Física, iniciando su carrera de investigador en dicha área, ya que estará capacitado para continuar estudios de postgrado universitario (Maestría o Doctorado) tanto en Física como en disciplinas que tengan un fuerte contenido en Física.

## 4.2 Licenciatura en Ciencias Físicas - Orientación Astronomía

### Fundamentación

La ciencia evoluciona de una manera dinámica, abriendo nuevas áreas del conocimiento y estimulando el desarrollo de enfoques interdisciplinarios en disciplinas que hasta hace poco tiempo parecían totalmente inconexas. Un ejemplo ilustrativo de esto último es la astrobiología o exobiología, disciplina que ha reunido a astrónomos, biólogos, geólogos, etc., a fin de analizar problemas relacionados con el origen de la vida en la Tierra y la existencia de vida en el resto del universo. También podemos mencionar el problema de cambio climático y global que ha dejado de ser un tema exclusivamente "terrestre" para pasar al ámbito espacial a través de la influencia de los impactos de cometas o asteroides.

La Facultad de Ciencias debe ser receptiva a los nuevos desarrollos del conocimiento científico y estar dispuesta a actualizarse tanto en la currícula de las diferentes Licenciaturas como en la posibilidad de abrir nuevas orientaciones. Existen actualmente en la Facultad de Ciencias pequeños grupos o investigadores aislados en: astronomía, y ciencias geofísicas afines que tienen algunas características en común: requieren una sólida formación en física, y un uso creciente de la tecnología espacial a través de técnicas de sensoramiento remoto y procesamiento de imágenes. Los temas desarrollados por estos grupos podrían englobarse dentro de un área marco que podemos denominar **Ciencias de la Tierra y del Espacio (CTE)**.

Las CTE abordan el estudio de la Tierra como planeta y su lugar en el universo, el origen de la Tierra como parte del fenómeno cósmico de formación de estrellas y sistemas planetarios, la evolución de la Tierra, incluyendo el desarrollo de continentes y océanos, el estudio de la interfase espacio-Tierra (radiación solar, rayos cósmicos, etc.), el origen y desarrollo de la vida y los desafíos que plantea para el medio ambiente la irrupción de una especie tecnológicamente avanzada.

Las CTE abarcan las siguientes áreas temáticas: Astronomía, Ciencias de la Atmósfera y los Océanos y Geofísica. Esta propuesta en primera instancia busca continuar el desarrollo de la Astronomía enmarcándola en una propuesta más general de integración con áreas afines.

**Astronomía:** Su objetivo es el estudio de los cuerpos celestes así como el Universo en su conjunto, tanto en sus aspectos físicos como dinámicos, su origen y evolución. Se apoya en la observación remota de los objetos y más recientemente en la exploración planetaria para la obtención de los datos que permitan comprender el comportamiento de estos objetos.

Si bien los pequeños grupos o investigadores vinculados a las CTE están concentrados en nuestra Facultad, queremos destacar el potencial aporte de otros grupos de la Universidad; como por ejemplo el grupo de Geodesia y Geofísica del Instituto de Agrimensura, de la Facultad de Ingeniería.

Esta propuesta apunta a brindarle al estudiante un currículo más flexible que le permita una adecuada movilidad horizontal entre esas distintas disciplinas (astronomía, geofísica, ciencias de la atmósfera y del océano). Es claro que no todos los estudiantes que ingresan a la Universidad tienen una vocación tan definida y que, en todo caso, esa vocación se va adaptando a su rendimiento académico y a cómo evalúa sus posibilidades de inserción laboral.

Por otro lado, la enseñanza de las CTE ha despertado el interés de las autoridades de la ANEP que han decidido su inclusión en el proyecto de reforma del bachillerato diversificado. Tanto en Astronomía como en CTE, dada la escasez de recursos para la formación de personal calificado, consideramos que en el futuro inmediato, los docentes de Enseñanza Secundaria sólo tendrán a nuestra carrera como único lugar donde obtener una sólida formación. Por consiguiente, la nueva carrera podrá también prestar una colaboración muy importante en la formación de profesores de Enseñanza Secundaria.

### **Perfil General del Egresado en la Licenciatura en Ciencias Físicas con Orientación en Astronomía**

El egresado tiene una sólida formación en Físico-Matemática que le permitirá analizar y resolver problemas relativos a la Tierra y sus esferas así como a los componentes del Universo. A lo largo de la carrera podrá definir un perfil diseñado a través de una adecuada selección de materias optativas en donde profundizará sus estudios u optará por una formación general en el área. El campo laboral está definido según la opción elegida; en todos los casos el egresado podrá desempeñarse como investigador, desarrollar su actividad en el ámbito educativo o realizar una actividad profesional relativo a su área de especialización en los ámbitos que lo requieran. También estará capacitado para continuar estudios de postgrado universitario (maestrías y/o doctorados) tanto en la propia disciplina como en disciplinas afines.

El Licenciado en Ciencias Físicas con Orientación en Astronomía puede desempeñar tareas en investigación y/o docencia a nivel superior en Astronomía, Ciencias del Espacio o áreas de la Física lindantes con la Astronomía como la Cosmología, Física del Plasma, Física de Partículas, etc. en la Universidad de la República o en otras universidades, en observatorios astronómicos o en centros de difusión científica como planetarios o museos de ciencias. También estará capacitado para desempeñarse en otros ámbitos de la enseñanza como los institutos de formación docente, Educación Secundaria en la asignatura Astronomía o CTE y los diversos observatorios educativos bajo la administración de la ANEP.

## 4.3 Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera

### Fundamentación

La meteorología es una ciencia relativamente nueva que se formalizó y desarrolló intensamente recién hacia mediados del siglo XX. En nuestro país no existió una tradición de cultivar esta disciplina en el ambiente universitario por lo que no se generó la masa crítica de académicos capaz de mantener la formación continua de jóvenes estudiantes. Este Plan de Estudio intenta sentar las bases que hagan posible la formación sostenida de graduados de nivel universitario en Ciencias de la Atmósfera para así fomentar y hacer viable un mejor tratamiento de los problemas del área y un mejor aprovechamiento de las oportunidades que se le presentan al Uruguay en este campo.

El escaso desarrollo de las ciencias atmosféricas en Uruguay se ve agravado por el hecho que es un país con una economía basada fuertemente en la explotación agropecuaria y con intenciones de desarrollar la industria turística, forestal, pesquera, etc. En estos rubros, el clima y los cambios de tiempo constituyen un recurso básico, a la vez que un factor limitante. Asimismo, los procesos erosivos y de desertificación y degradación del medio natural, si bien pueden tener un origen antropogénico, están signados por la evolución atmosférica en cada sitio, y la clase de manejo y medidas paliativas a tales situaciones deben necesariamente acompañar el tipo de fluctuaciones climáticas de cada lugar para tener reales perspectivas de éxito. No existen hoy por hoy en la República recursos humanos especializados, suficientes en cantidad y calidad, para incorporar a las actividades de planificación y de ejecución tal tipo de información.

En este contexto nacional, se propone este Plan de Estudios que atiende a definir un título al nivel de graduado universitario coherente con el nivel estándar regional e internacional en la disciplina, pero que desarrolle y se base particularmente en las necesidades específicas de nuestra realidad tanto por los problemas físicos (meteorológicos, climáticos, etc.) como por el uso potencial en nuestra sociedad del conocimiento asociado en aplicaciones económicas, productivas y de políticas públicas. En este marco, se estructura un plan y perfil de graduado compatibles con las posibilidades de ejecución en la Universidad de la República, aunando esfuerzos de los recursos docentes disponibles e integrando lo más posible con carreras afines ya existentes en las Facultades. Las instancias formativas se podrán desarrollar alrededor de las actividades más generales de investigación, extensión y asesoramiento que ya se llevan a cabo y a partir de temáticas de interés, optimizando los recursos disponibles para el fortalecimiento de dichas actividades en el ámbito nacional (público y privado), regional e internacional (proyectos, programas, etc.).

Las ciencias de la atmósfera en general siguen teniendo un desarrollo intenso hasta el día de hoy, sostenido por el vertiginoso avance en la capacidad de observación remota y de computación en paralelo. En este contexto es necesario abandonar cualquier visión enciclopedística que pudiera animar el plan de estudio, sustituyéndola por una estrategia que apunte a preparar egresados con una fuerte formación en los fundamentos de la meteorología y con una visión amplia de las ciencias atmosféricas y el clima, que los habilite a seguir aprendiendo durante su vida laboral.

Puesto que la potencialidad mayor que se busca es la aptitud del egresado para seguir aprendiendo, la formación ocupa el lugar primordial en su preparación. Se entiende por formación el conjunto de actividades orientadas fundamentalmente a la creación de capacidades en el estudiante

(incluyendo entre ellas por lo menos las de analizar, sintetizar, proyectar, expresarse y procesar, almacenar y recuperar información). El egresado de esta Licenciatura tendrá que caracterizarse por su capacidad de adaptación a nuevas situaciones y tecnologías, fundamentalmente la percepción remota y la modelación numérica, y es por ello que las actividades de formación son prioritarias respecto de las de información y del entrenamiento en técnicas de trabajo.

Se busca asimismo lograr un adecuado equilibrio entre profundidad y extensión, que permita al egresado llegar al grado de desarrollo del conocimiento necesario para actuar adecuadamente a los niveles correspondientes, sin que eso implique especializarlo de tal modo que haga inviable o muy dificultosa su inserción en el mercado de trabajo, un mercado al que deberá integrarse sin perder por ello su capacidad de trabajar para transformar la realidad.

El Plan no limita la formación a lo estrictamente vinculado con las Ciencias de la Atmósfera, sino que incluye disciplinas complementarias, que pretenden ampliar la visión del egresado hacia otros aspectos de la realidad, especialmente sociales, ambientales y económicos, que también formarán parte de su entorno laboral.

Finalmente, se incluye un número importante de créditos otorgados a asignaturas opcionales a los efectos de permitir una mayor diversificación en el perfil del egresado.

## **Perfil del egresado en la Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera**

El Licenciado en Ciencias de la Atmósfera de la Universidad de la República estará capacitado para plantear y atender problemas en Meteorología Sinóptica, Observación y Predicción del Tiempo, Climatología y Variabilidad Climática con énfasis en la región del Sudeste de Sudamérica. Estará familiarizado con la jerarquía de modelos del Tiempo y el Clima (dinámicos, numéricos, estadísticos o combinaciones). Podrá atender a problemas en las muy diversas escalas espacio-temporales que se presentan en la atmósfera, desde problemas de cambio climático global a aspectos micro-meteorológicos, incluyendo la contaminación atmosférica.

El objetivo fundamental que persigue el presente Plan de Estudio es la formación de Licenciados en Ciencias de la Atmósfera dotados de una preparación suficiente para insertarse en el medio y capacitados para seguir aprendiendo y así estar en condiciones de actuar en actividades más especializadas y complejas. Asimismo, estarán capacitados para continuar estudios al nivel de postgrado universitario tanto en la propia disciplina como en disciplinas afines. También estarán capacitados para participar en equipos interdisciplinarios o interactuar desde la Meteorología con otros profesionales en aspectos agro meteorológicos, hidrometeorológicos y ambientales (locales y globales). Las actividades integradoras propuestas en el Plan le habilitarán a integrarse a equipos profesionales u organizaciones, incluyendo educativas o de investigación y desarrollo, o bien iniciarse individualmente abordando problemas de relativa simplicidad pero aún con buena respuesta en el campo de la creatividad, ya sea en el planteo, tratamiento o en la solución (aún parcial) de la problemática. Se fomentará siempre el trabajo con base científica y herramientas actualizadas y con responsabilidad profesional. Será la práctica profesional posterior la que le permitirá un más amplio manejo de los aspectos específicos de alguna área disciplinaria o profesional.

Al estudiante de esta licenciatura se le brindará una amplia formación general, teórica y experimental, de base física y matemática. Transitará por una formación sólida en las disciplinas específicas para el tratamiento de cualquier aspecto o problema de su ejercicio profesional o académico en las áreas de

Ciencias de la Atmósfera y el Clima, Meteorología y sus aplicaciones e interacciones con otras disciplinas o profesiones. El estudiante estará también expuesto a disciplinas afines y complementarias y participará en diversas actividades integradoras de los conocimientos adquiridos.

## 5) ESTRUCTURA DEL PLAN POR ÁREA TEMÁTICA

Las áreas temáticas incluidas en el plan se indican en el siguiente cuadro, junto con los créditos **mínimos** de cada área temática que les corresponden para la Orientación Física, la Orientación Astronomía y la Licenciatura Ciencias de la Atmósfera.

Áreas Temáticas	Astronomía	Ciencias de la Atmósfera	Física
Matemática	72	68	72
Física Básica	54	64	54
Física Intermedia	30		30
Física avanzada	12	54	48
Mecánica de los Fluidos y Dinámica Atmosférica			12
Laboratorios	10	24	32
Actividades integradoras	12		16
Actividades especiales	16		10
Tratamiento de datos	10	20	10
Métodos numéricos	16	18	16
Química	10	10	
Astronomía	54		
Recursos hídricos y otras Geociencias		15	
Ciencias y Sociedad	8	6	8
<b>Subtotal</b>	<b>304</b>	<b>279</b>	<b>298</b>
Optativas (*)	36		44 (**)
<b>Suma de mínimos de áreas temáticas</b>	<b>340</b>	<b>279</b>	<b>342</b>
<b>Créditos mínimos necesarios para la obtención del título</b>	<b>360</b>	<b>360</b>	<b>360</b>

**Total de créditos en todas las Orientaciones: 360**

(\*) Se refiere al número mínimo de créditos en asignaturas que se hayan seleccionado como Optativas. Éstas podrán ser elegidas dentro de las áreas temáticas descritas o dentro de otras asignaturas con previa aprobación de la Comisión pertinente.

(\*\*) Se pueden obtener hasta 12 créditos de Optativas a través de la realización de un Trabajo Especial.

## **5. 1 Definición de cada una de las áreas temáticas**

### **Matemática**

El objetivo de esta área temática es proporcionar al estudiante las herramientas matemáticas necesarias para entender los desarrollos habituales en Física y realizar cálculos típicos que se hacen en Física. El objetivo es que el estudiante obtenga un buen manejo de derivadas, integrales y ecuaciones diferenciales, así como de vectores y matrices y cálculo vectorial.

También se incluye en esta área temática el estudio de funciones analíticas y ecuaciones en derivadas parciales.

### **Física Básica**

Se pretende dar al estudiante, en forma intuitiva y directa, sin considerar detalles técnicos, un panorama global de la Física tanto clásica como moderna. El estudiante debe adquirir un manejo adecuado de las nociones básicas de la Mecánica (velocidad, aceleración, fuerza, masa, energía, cantidad de movimiento, etc.) y del Electromagnetismo (carga, corriente, campos eléctrico y magnético, potencial, etc.), así como comprender las nociones de onda y de fluido. También debe aprender los fundamentos de la Física Moderna (relatividad, estructura atómica, fotones y física cuántica, dualidad onda-corpúsculo, partículas elementales y núcleo, etc.), así como los conceptos básicos de la Termodinámica y de la Teoría Cinética de los gases.

Dentro de esta área temática se incluyen además cursos de profundización en ciertas temáticas clásicas como ser:

- Mecánica Clásica: Mecánica del punto, Cinemática y Dinámica del rígido,
- Termodinámica: Sistemas termodinámicos. Teoría Cinética. Principio termodinámico.
- Ondas: Teoría Ondulatoria. Propagación de ondas.

### **Actividades especiales**

Esta área temática apunta a la formación en del estudiante en la experimentación física y juega por lo tanto un papel fundamental. En ella, el estudiante debe aprender a trabajar en el laboratorio. El dictado de esta área temática, aunque independiente, debe realizarse en forma fuertemente coordinada con el dictado de los cursos teóricos. Un objetivo fundamental es que el estudiante aprenda a manejar el instrumental adecuado (osciloscopios, computadoras, etc.) y las técnicas de medición, así como el cálculo de errores y el diseño de experiencias.

### **Física Intermedia**

El objetivo de esta área temática es lograr un primer nivel de profundización en diversas áreas de la Física Clásica y Moderna. Dentro de esta área se incluyen temas como:

- Mecánica Analítica: Formulación Lagrangiana y Hamiltoniana de la mecánica, Oscilaciones, Transformaciones canónicas
- Electromagnetismo: Leyes eléctricas y magnéticas. Introducción a las ecuaciones de Maxwell
- Física Moderna: Teoría Especial de la Relatividad. Dualidad onda-partícula. El átomo de Bohr. Principio de la mecánica ondulatoria. Física nuclear

## **Tratamiento de datos**

El objetivo de esta área temática es brindar las herramientas matemáticas para el análisis estadísticos de resultados experimentales y/o datos observacionales. Se introducirá al alumno en el estudio de distribuciones de probabilidad, métodos de estimación de parámetros, estadística paramétrica y no paramétrica y modelos lineales.

Podrá profundizar esta área en temas referidos a los datos climáticos derivados de la calidad e independencia de los datos y el estudio de las propiedades típicas de las series de tiempo..

## **Métodos numéricos**

El objetivo de esta área temática es que el estudiante comprenda las posibilidades de la computación, la informática y la modelación numérica y proporcionar las herramientas de cálculo necesarias para trabajar como físico en la actualidad. El estudiante debe adquirir las herramientas básicas de programación y un sólido dominio de las técnicas de cálculo y el estudio de la propagación de errores y aprender a usarlas en problemas físicos concretos.

Podrá profundizar en la estructura lógica y base física de los modelos numéricos de la atmósfera y entender sus potencialidades y limitaciones.

## **Química**

Esta área tiene como objetivo brindarle al estudiante conocimientos básicos en Química Inorgánica, de gran utilidad en otras áreas, especialmente para las orientaciones de Astronomía y Ciencias de la Atmósfera.

Se pretende conozca la estructura atómica, los enlaces químico, termoquímica y electroquímica.

Podrá profundizar en temáticas más específicas como Química de la Atmósfera.

## **Astronomía**

Esta área temática incluye los contenidos específicos de la Orientación Astronomía.

Cubre un conocimiento general en las principales disciplinas astronómicas, como ser: Astronomía Fundamental y nociones de Geodesia, Planetología y Física Solar, Mecánica Celeste, Astrofísica Estelar, Astronomía Galáctica y Extragaláctica.

En particular sobre cada disciplina se pretende brindar al estudiante conocimientos básicos en los siguientes temas:

- Astronomía Fundamental y Geodesia: Coordenadas celestes, Tiempo, Movimientos Terrestres, Sistema de Información Georeferencial y Posicionamiento Global
- Planetología y Física Solar: El Sol. Atmósferas, Superficies, Interiores y Magnetosferas Planetarias. Cuerpos menores. Origen del Sistema Solar.
- Mecánica Celeste: Problema de dos cuerpos. Problema de 3 y N cuerpos. Teoría de Perturbaciones.
- Astrofísica Estelar: Espectros estelares. Atmósferas e interiores estelares. Evolución estelar.
- Astronomía Galáctica y Extragaláctica: Medio Interestelar, la Vía Láctea, Galaxias, Cosmología

## **Mecánica de los Fluidos y Dinámica Atmosférica**

El objetivo de esta área temática es introducir al estudiante a los conceptos básicos de la dinámica atmosférica y su sustento en la mecánica de los fluidos geofísicos. Esta área temática incluirá, por tanto, asignaturas introductorias a la meteorología y al clima a la vez que asignaturas básicas y avanzadas en mecánica de los fluidos y meteorología dinámica. Se pretende que el estudiante incorpore los conocimientos y prácticas tradicionales en meteorología sinóptica en el marco teórico de la meteorología dinámica y ponga en práctica dichos conocimientos en ejercicios de pronóstico del tiempo.

Asignaturas en esta área temática podrán incluir otras temas tales como: meteorología tropical, meteorología de mesoescala, micrometeorología y dinámica de alta atmósfera.

## **Recursos hídricos y otras Geociencias**

Tiene como finalidad posibilitar la integración de las Ciencias de la Atmósfera con otras áreas temáticas afines como ser: la relación e impacto del clima y su variabilidad en la planificación y gestión de los recursos, la preservación del medio ambiente, la hidrología superficial y subterránea y sus usos. Se pretende además una integración con otras Geociencias no atmosféricas de estrecha vinculación con la atmósfera. Se priorizará en este sentido el estudio del océano, en sus aspectos tanto físicos como biológicos y de la cobertura vegetal terrestre. Se podrá incluir dentro de esta área temática asignaturas que introduzcan al estudiante a las diversas técnicas de percepción remota y su aplicación a la meteorología, así como también asignaturas que capaciten al estudiante en el manejo de herramientas modernas para trabajar con datos de campo o satelitales (SIG, GPS). La interacción de la Tierra con su ambiente planetario y el papel de la Física Solar en la modulación del clima también pueden ser consideradas dentro de esta área temática.

## **Física Avanzada**

En esta área el estudiante continuará el proceso de profundización de conocimientos de diversas disciplinas físicas, como ser la Teoría Electromagnética, Mecánica Cuántica y Mecánica Estadística.

En cada disciplina se plantean el tratamiento de los siguientes temas:

- Teoría Electromagnética: Ecuaciones de Maxwell. Radiación de ondas electromagnéticas. Relatividad Especial.
- Mecánica Cuántica: Teoría Cuántica en el Espacio de Hilbert. Resolución de la Ecuación de Schrodinger. Proceso de medida en Mecánica Cuántica.
- Mecánica Estadística: Estadística clásica y cuántica. Gases ideales clásicos. Función de partición. Gases ideales cuánticos. Fluctuaciones. Magnetismo.
- Física del Estado Sólido : Estructura cristalina-fonones. Propiedades térmicas. Bandas de energía – propiedades electromagnéticas. Elasticidad.

## **Laboratorios**

Los laboratorios comprenden áreas estrechamente vinculadas con el contenido de los cursos teóricos de Física correspondientes al semestre en curso, tanto en las áreas de Física Básica como de Física Intermedia.

Así es que el Laboratorio I, que se propone en el mismo semestre que Mecánica Clásica y Física Moderna, debe incluir experimentos interesantes y útiles de aplicación de las leyes fundamentales de la Mecánica (oscilaciones libres y amortiguadas, movimiento de rígidos, movimiento relativo, etc.). También se deben incluir experimentos históricos que condujeron al nacimiento de la Física Moderna en los primeros años del siglo XX, como el efecto fotoeléctrico y la interpretación de Einstein, el experimento de Frank-Hertz que descubre la cuantización de la energía en el átomo, la radiación del cuerpo negro y la interpretación de Planck, etc.

Siguiendo la misma filosofía, el Laboratorio II coexiste con los cursos de Termodinámica y Electromagnetismo, por lo que debe incluir experimentos sobre conductividad térmica en sólidos o líquidos, calorimetría, obtención experimental de ecuaciones de estado sencillas (p. ej. en gases, supuestos ideales). Los experimentos sobre las leyes fundamentales de la electrostática son de muy difícil ejecución. No obstante, las leyes básicas del electromagnetismo (Leyes de Ampère y de Faraday) permiten una amplia gama de experimentos utilizando corrientes y midiendo sus campos magnéticos, transformadores de fuerza electromotriz, fenómenos de histéresis magnética, circuitos eléctricos bajo comportamiento transitorio, etc.

El Laboratorio IIIa coexiste con el curso teórico de Ondas, el que presenta una enorme variedad de experimentos para los cuales el Instituto de Física dispone de abundante material (interferómetro de Michelson, sistema de microondas, emisores y receptores de ultrasonido, equipos para visualización de campos acústicos). Esto permite el estudio aplicado de todos los fenómenos involucrados con la propagación, refracción, reflexión, dispersión, scattering y atenuación de ondas electromagnéticas y mecánicas).

En el Laboratorio IIIb se propone que los estudiantes se agrupen en torno a uno o, a lo sumo, dos proyectos de trabajo que le ocupen todo el semestre. La finalidad de este laboratorio es de doble propósito. Por una parte, el trabajo directo en las tareas de investigación en la Física experimental y aplicada, Por otra parte, la adquisición de conocimientos básicos teóricos y aplicados sobre electrónica, que los familiarice con la construcción de instrumental de medición y control a ser utilizados en los proyectos de investigación en que trabajarán. Se propone entonces que este Laboratorio sea acompañado por un curso de electrónica eminentemente práctico que sea aplicable directamente al o los proyectos seleccionados, como por ejemplo la construcción de amplificadores de señales ópticas y acústicas (de baja y alta frecuencia), de generadores de señales de alta frecuencia, la construcción y calibración de sensores, la construcción de "drivers" para manejo de instrumentos y motores, etc.

## **Optativas**

El objetivo de esta área temática es múltiple. Por un lado permite que el estudiante oriente su estudio en una dirección particular dentro de la opción elegida, profundizando en un área de su interés y acercándolo a un grupo de investigación. Se espera que algunas de las opcionales de este tipo sean aprobadas mediante monografías que impliquen una lectura de artículos en revistas de investigación y cierto trabajo individual del estudiante que lo ponga en contacto con la investigación en un área determinada. Por otro lado, alguna de las opcionales tomadas por el estudiante pueden ser ajenas a la

Física permitiendo en algunos casos una formación interdisciplinaria (algún alumno podría tomar todas o la mayoría de sus opcionales en otra ciencia por ejemplo Biología o Matemáticas). Cada alumno contará con la orientación de un docente grado 3, 4 o 5 del Instituto para la elaboración de su Plan de Opcionales, el cual será aprobado por la Comisión Coordinadora Docente y la Comisión del Instituto de Física.

Se podrán obtener hasta 2 créditos en Optativas por la asistencia regular a Seminarios de Investigación.

## **Ciencia y Sociedad**

Se pretende que el estudiante reflexione sobre problemas como las bases filosóficas de las diferentes teorías científicas y su desarrollo histórico, las relaciones entre la Ciencia, Tecnología y la Sociedad, las Políticas científicas u otros aspectos que plantean la dimensión social y humana de la Ciencia. Es conveniente que esta área temática se desarrolle sobre el final de la Licenciatura, luego que el estudiante haya adquirido madurez suficiente en el manejo de la metodología científica.

## **Actividades Integradoras**

En la etapa avanzada de la carrera, se enfocarán actividades que tiendan a la utilización integral de los conocimientos y técnicas adquiridos en una temática concreta a través de un trabajo especial o una pasantía que lo vincule a las actividades típicas de un egresado.

El trabajo podrá ser de carácter teórico, experimental, observacional o mixto y estará supervisado por un orientador.

## ANEXO

### Propuesta de implementación del Plan

A continuación se brinda un listado de asignaturas posibles, con sus respectivos programas, que abarcan las diversas áreas temáticas.

Nota: Los créditos que aparecen en las tablas que siguen refieren al sistema de créditos vigente en 2004 de la Facultad de Ciencias, diferente del sistema de créditos que se utiliza en este Plan.

<b>Matemática</b>	Cálculo Diferencial e Integral I	6
	Álgebra Lineal I	6
	Cálculo Diferencial e Integral II	6
	Álgebra Lineal II	6
	Cálculo Vectorial y Análisis Complejo	6
	Ecuaciones Diferenciales	6
<b>Física Básica</b>	Física I	6
	Física II	6
	Mecánica Clásica	5
	Termodinámica	5
	Ondas	5
<b>Actividades Especiales</b>	Taller I (F,M)	4
	Taller II (F,M)	4
	Introducción a la CTE I (A,M)	5
	Introducción a la CTE II (A,M)	5
	Taller de Introducción a la Meteo (M)	4
<b>Física Intermedia</b>	Física Moderna (A-F)	5
	Electromagnetismo (A-F)	5
	Mecánica Analítica (A-F)	5
<b>Física avanzada</b>	Mecánica Estadística (F)	6
	Teoría Electromagnética (F)	6
	Mecánica Cuántica (F)	6
	Física del Estado Sólido (F)	6
<b>Laboratorios</b>	Laboratorio I (F,M)	4
	Laboratorio II (F)	4
	Laboratorio IIIa (F)	4
	Laboratorio IIIb (F)	4
	Técnicas Instrumentales (A)	5
	Taller de Pronóstico (M)	2

<b>Tratamiento de datos</b>	Probabilidad y Estadística Aplicada	5
	Análisis de Datos Climáticos (M)	6
<b>Métodos numéricos</b>	Introducción a la Computación	3
	Física Computacional	5
	Modelización Numérica de la Atmósfera (M)	6
<b>Ciencias sociales y humanas</b>	Ciencia y Desarrollo	4
<b>Química</b>	Química General (A,M)	5
	Química de la Atmósfera (M)	5
<b>Astronomía</b>	Astronomía Fundamental y Geodesia (A)	5
	Planetología y Física Solar (A)	5
	Mecánica Celeste (A)	6
	Astrofísica Estelar (A)	6
	Astronomía Galáctica y Extragaláctica (A)	5
<b>Mecánica de los Fluidos y Dinámica Atmosférica</b>	Mecánica de los Fluidos	6
	Elementos de Meteo. y Clima (M)	6
	Meteorología Dinámica y Taller Sinóptico (M)	8
	Complementos de Meteorología (M)	6
<b>Recursos hídricos y otras Geociencias</b>	Módulo de Aire Humedo	2
	Hidrología	5
	Oceanografía	6
	Planetología y Física Solar	6
	Sistemas de Información Geográfico	4

**Esquema de propuesta de implementación del Plan de Licenciatura en Ciencias Físicas**

**Licenciatura en Ciencias Físicas - Opción Física (F)**

**Licenciatura en Ciencias Físicas - Opción Astronomía (A)**

**Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera (M)**

**Licenciatura en Ciencias Físicas – Todas las Opciones  
Astronomía (A) – Ciencias de la Atmósfera (M) – Física (F)**

<b>Primer Semestre</b>		<b>Créditos</b>	<b>Segundo Semestre</b>		<b>Créditos</b>
Cálculo Diferencial e Integral I		6	Cálculo Diferencial e Integral II		6
Álgebra Lineal I		6	Álgebra Lineal II		6
Física I		6	Física II		6
Introducción a la CTE I (A,M)		5	Introducción a la CTE II (A,M)		5
Taller I (F,M)		4	Taller II (F,M)		4
			Taller de Introducción a la Meteo (M)		4
	Subtotal	22F-23A-22 o23M		Subtotal	22F- 23A-22 o 23M
<b>Tercer Semestre</b>		<b>Créditos</b>	<b>Cuarto Semestre</b>		<b>Créditos</b>
Cálculo Vectorial y Análisis Complejo		6	Ecuaciones Diferenciales		6
Mecánica Clásica		5	Termodinámica		5
Física Moderna (A,F)		5	Electromagnetismo (A,F)		5
Introducción a la Computación (M)		3	Mecánica de los Fluidos (M)		6
Química General (A)		5	Astronomía Fundamental y Geodesia (A)		5
Laboratorio I (F,M)		4	Elementos de Meteo. y Clima (M)		6
			Laboratorio II (F)		4
	Subtotal	20F-21A-18M		Subtotal	20F-21A-23M
<b>Quinto Semestre</b>		<b>Créditos</b>	<b>Sexto Semestre</b>		<b>Créditos</b>
Ondas		5	Probabilidad y Estadística Aplicada		5
Introducción a la Computación (A,F)		3	Mecánica Celeste (A)		6
Química General (M)		5	Meteorología Dinámica y Taller Sinóptico (M)		8
Mecánica Analítica (A-F)		5	Mecánica Cuántica (F)		6
Planetología y Física Solar (A)		5	Astrofísica Estelar (A)		6
Módulo de Aire Humedo (M)		2	Oceanografía (M)		6
Laboratorio IIIa (F)		4	Teoría Electromagnética (F)		6

Física Computacional (M)	5	Química de la Atmósfera (M)	5
		Laboratorio IIIb (F)	4
Subtotal	17F-18A-17M	Subtotal	21F-17A-24M
<b>Séptimo Semestre</b>	<b>Créditos</b>	<b>Octavo Semestre</b>	<b>Créditos</b>
Física Computacional (A-F)	5	Ciencia y Sociedad	4
Modelización Numérica de la Atmósfera (M)	6	Complementos de Meteorología (M)	6
Técnicas Instrumentales (A)	5	Mecánica de los Fluidos (F)	6
Mecánica Estadística (F)	6	Análisis de Datos Climáticos (M)	6
Taller de Pronóstico (M)	2	Trabajo Especial (A,M)	6
Astronomía Galáctica y Extragaláctica (A)	5		
Física del Estado Sólido (F)	6		
Subtotal	17F-15A-8M	Subtotal	10F-10A-18M

Cuando en un tono de gris figura más de una asignatura para la misma opción el estudiante deberá optar por una.

## **Programas de las Asignaturas de Matemática**

### **CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL I**

Números reales y complejos. Sucesiones y series numéricas. Funciones reales de variable real. Integración. Nociones sobre ecuaciones diferenciales.

### **ÁLGEBRA LINEAL I**

Geometría en  $\mathbb{R}^3$ . Espacios vectoriales. Transformaciones lineales. Determinantes.

### **CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL II**

Nociones topológicas elementales de  $\mathbb{R}^n$ . Diferenciabilidad de funciones de  $\mathbb{R}^n$  en  $\mathbb{R}$ . Diferenciabilidad de funciones de  $\mathbb{R}^n$  en  $\mathbb{R}^m$ . Integrales múltiples.

### **ÁLGEBRA LINEAL II**

Formas canónicas. Espacios con producto interno. Formas bilineales y cuadráticas.

### **CÁLCULO VECTORIAL Y ANÁLISIS COMPLEJO**

Curvas. Integrales curvilíneas, superficies parametrizables y superficies regulares. Integrales de superficie. Flujos. Isometrías. Curvatura gaussiana. Teorema de Gauss-Bonnet.

### **INTRODUCCIÓN A LAS ECUACIONES DIFERENCIALES**

Sistemas lineales. Matriz fundamental. Teoremas de existencia y unicidad. Diferenciabilidad con respecto a las condiciones iniciales. Estabilidad en el sentido de Lyapunov. Series de Fourier. Ecuaciones en derivadas parciales.

### **PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA APLICADA**

**PROBABILIDADES.** Espacios de probabilidad, el modelo clásico, variables aleatorias, funciones de distribución, probabilidad condicional, independencia. Algunas distribuciones particulares: Hipergeométrica y binomial, normal, exponencial. Valor esperado, varianza, covarianza, correlación. Aplicaciones.

**LEYES LÍMITE.** Desigualdad de Markov, desigualdades exponenciales. Leyes de grandes números. Teorema central del límite. Enunciado de los teoremas de Berry-Essen y Glivenko-Cantelli. Aplicaciones: Estimación de parámetros de posición, el problema de la robustez, método de Monte Carlo.

**CADENAS DE MARKOV.** Propiedades básicas y ejemplos de cadenas en espacios de estado finitos. Caracterización de estados, propiedades ergódicas. Nociones sobre la estimación de las probabilidades de transición. Aplicaciones.

**ESTADÍSTICA PARAMÉTRICA.** Métodos de momentos y de máxima verosimilitud. Test de hipótesis simples. Lema de Neyman-Pearson. Algunos test de hipótesis compuestas.

ESTADÍSTICA NO PARAMÉTRICA. Algunos test de ajuste y comparación de 2 muestras (Kolmogorov-Smirnov, chi-cuadrado). Test de independencia. Aplicaciones.

MODELOS LINEALES. Estimación de parámetros, prueba F: ajuste de modelos, selección de submodelos. Aplicaciones.

# Programas de las Asignaturas de Física

## FÍSICA GENERAL I

- 1) Sentido y significado de una teoría Física.
- 2) Dinámica. Cinemática del punto. Dinámica del punto. Campo gravitatorio. Estudio del movimiento en un campo gravitatorio. Estática. Vínculos. Rozamiento. Principios derivados. Impulso y cantidad de movimiento. Sistemas cerrados. Conservación de la cantidad de movimiento. Trabajo y energía cinética. Fuerzas conservativas. Energía potencial. Conservación de la energía mecánica. Oscilaciones. Sistemas inerciales y no inerciales.
- 3) Termodinámica y fluidos. Variables de estado, temperatura, presión, volumen. Ecuación de estado. Gases perfectos. Calor y trabajo de deformación. Primer principio. Calores específicos. Reversibilidad, entropía y sentido de los procesos termodinámicos. Hidrodinámica, ecuación de continuidad. Movimiento estacionario. Teorema de Bernoulli.

## FÍSICA GENERAL II

- 1) Electromagnetismo. Cargas y campo eléctrico. Potencial. Dieléctricos. Corriente eléctrica. Magnetismo. Magnetismo terrestre. Propiedades magnéticas de la materia. Inducción electromagnética. Aplicaciones.
  - 2) Ondas y Física Moderna. Transmisión de perturbaciones. Ondas. Difracción. Interferencia. Aplicaciones. Efecto fotoeléctrico. Fotones. Cuantificación. Átomo de Bohr. Dualidad onda-partícula. Principio de incertidumbre. Nociones de estructura de la materia.
  - 3) Panorama actual de la Física.
- Bibliografía: Textos de Física General; Resnick-Halliday, Eisberg, Serway, Mc Kelvey.

## MECÁNICA CLÁSICA

- 1) Cinemática en el plano y en el espacio. Sistemas de coordenadas, sistemas de referencia. Movimiento de un punto sobre una curva. Triedro de Frenet. Ecuaciones intrínsecas.
  - 2) Principios fundamentales de la Mecánica Clásica. Sistemas de referencia inerciales. Movimiento relativo. Sistemas no inerciales.
  - 3) Dinámica del punto material. Trabajo, energía, cantidad de movimiento lineal y angular. Principio de conservación. Vínculos y fuerzas de reacción.
  - 4) Fuerzas centrales.
  - 5) Movimiento de un sistema de partículas. Centro de masa. Principio de conservación. Ecuaciones cardinales. Problemas de dos cuerpos.
  - 6) Cinemática del rígido. Distribución de velocidades. Eje instantáneo de rotación.
  - 7) Dinámica del rígido. Tensor de inercia. Ecuaciones cardinales. Ejes principales. Ecuaciones de Euler.
- Bibliografía: Marion, Simon, Synge.

## TERMODINÁMICA

- 1) Nociones de la Teoría de la Probabilidad. Variables aleatorias. Distribuciones de probabilidad.
  - 2) Sistemas termodinámicos. Generalidades. Gases ideales.
  - 3) Nociones de Teoría Cinética. Función de distribución de Maxwell- Boltzmann. Nociones de Física Estadística. Función de partición.
  - 4) Primer principio. Capacidad calorífica. Procesos en gases.
  - 5) Energía libre. Entropía. Procesos cuasiestáticos. Segundo principio. Ciclos. Ecuaciones de Euler y de Gibbs-Duhem.
  - 6) Potenciales termodinámicos. Energía utilizable. Estabilidad termodinámica. Gas de Van der Waals. Vapores y cambios de estado.
  - 7) Sistemas abiertos. Fenómenos de transporte.
- Bibliografía: Sears-Salinger, Callen.

## ONDAS

- 1) Ondas viajeras y estacionarias. Fenómenos de transmisión y reflexión.
- 2) Ondas en medios disipativos y dispersivos.
- 3) Modos de propagación. Polarización, interferencia y difracción.
- 4) Eiconal. Ondas y partículas. Ecuación de Schrodinger y ondas de De Broglie.

## FÍSICA MODERNA

- 1) Los límites de la física clásica. El problema del éter. La catástrofe ultravioleta. El problema de la estabilidad del átomo.
  - 2) La Teoría Especial de la Relatividad. Postulados de Einstein y transformaciones de Lorentz. Cinemática relativista. Dinámica relativista.
  - 3) Propiedades corpusculares de la radiación. La hipótesis de Planck. Efecto fotoeléctrico. Efecto Compton. Producción y aniquilación de pares.
  - 4) El átomo de Bohr. Espectros atómicos. La teoría de los estados estacionarios. Evidencias experimentales: experimento de Franck-Hertz. Crítica a la teoría de Bohr.
  - 5) Propiedades ondulatorias de las partículas materiales. La analogía entre la mecánica clásica y la óptica geométrica. Ondas de De Broglie. Difracción de electrones. Interpretación probabilística de la función de onda. El principio de superposición.
  - 6) Principio de la mecánica ondulatoria. La ecuación de Schrodinger. Cuantificación como un problema de autovalores. principio de incertidumbre. Aplicaciones.
  - 7) Física molecular y del estado sólido. Enlaces moleculares. Espectros. Leyes de distribución estadísticas. La teoría del electrón libre en metales. Teoría de bandas de energía en sólidos: conductores, aisladores y semiconductores.
  - 8) Efectos cuánticos macroscópicos. Superconductividad. Superfluidez. Máser y láser.
  - 9) Física nuclear. estructura nuclear. Reacciones nucleares.
  - 10) Física de partículas. Teorías fundamentales y fenomenológicas. Relatividad + Mecánica Cuántica = Teorías cuánticas de campo. Teorías unificadas.
- Bibliografía: Eisberg, Gasiorowitz.

## **ELECTROMAGNETISMO**

- 1) Ley de Coulomb. Campo eléctrico. Potencial eléctrico.
  - 2) Ley de Gauss. Conductores en un campo eléctrico. Medios dieléctricos. Capacidad. Coeficientes de potencial.
  - 3) Energía electrostática.
  - 4) Conducción eléctrica.
  - 5) Campo magnético. Ley de Ampere. Inducción. Ley de Faraday. Medios magnetizables.
  - 6) Corriente alterna. Teoría de circuitos.
  - 7) Ecuaciones de Maxwell en el vacío.
  - 8) Propiedades microscópicas de los dieléctricos y de los materiales magnetizables.
- Bibliografía: Reitz-Milford, Purcell, Feynman.

## **LABORATORIO II**

De manera semejante al laboratorio I, se desarrollaran experiencias sobre Termodinámica y Electromagnetismo. Por ejemplo: ley de Joule, calor específico de sólidos, transmisión de calor, celda electrolítica, inducción electromagnética, circuitos de c.a., etc.

## **TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA**

- 1) Ecuaciones de Maxwell en el vacío y en medios materiales.
- 2) Electroestática y magnetostática.
- 3) Potencial escalar y potencial vectorial magnético. Contrastes de Lorentz y contrastes de Coulomb.
- 4) Radiación de ondas electromagnéticas. Ondas electromagnéticas en medios ilimitados y en medios acotados.
- 5) Fuerza, energía y cantidad de movimiento en el campo electromagnético.
- 6) Relatividad Especial. Transformación de campos.
- 7) Potenciales de Lienard-Wiechert y radiación por cargas aceleradas.
- 8) Lagrangiano y Hamiltoniano para una partícula relativista en un campo electromagnético.

## **MECÁNICA ANALÍTICA**

- 1) Principio de los trabajos virtuales. Ligaduras.
- 2) Principios variacionales y ecuaciones de Lagrange.
- 3) Aplicaciones: fuerzas centrales y dinámica del rígido.
- 4) Pequeñas oscilaciones. Ideas de oscilaciones no lineales.
- 5) Ecuaciones de Hamilton.
- 6) Transformaciones canónicas.
- 7) Ecuaciones de Hamilton-Jacobi. Perturbaciones canónicas.

## **LABORATORIO IIIa**

Se propondrá la realización de una o varias experiencias en forma individual o por grupos de dos alumnos como máximo. Se buscare que dicha(s) experiencias impliquen un trabajo lo mas elaborado y completo posible, en temas que pueden estar ligados con las diferentes áreas de desarrollo de la física experimental en el país. Cada trabajo tendrá una duración máxima de un semestre.

### **MECÁNICA CUÁNTICA**

- 1) Espacio de estados. Observables. Representaciones.
  - 2) Principios fundamentales (postulados) de la Mecánica Cuántica.
  - 3) Oscilador armónico.
  - 4) Momentos angulares.
  - 5) Átomos hidrogenoides.
  - 6) Métodos aproximados (métodos variacionales y perturbacionales).
  - 7) Perturbaciones dependientes del tiempo.
- Sistemas de varias partículas caso de partículas idénticas.

### **MECÁNICA ESTADÍSTICA**

- 1) Teoría de la información. Entropía de Jaynes. Teorema de Liouville. Estadística clásica y cuántica.
- 2) El formalismo de la máxima entropía. Distribuciones canónica, microcanónica y gran canónica.
- 3) Gases ideales clásicos. Función de partición de traslación, rotación y vibración. Calores específicos.
- 4) Gases ideales cuánticos. Bosones y fermiones: Funciones de partición y propiedades termodinámicas. Ejemplos: gas de fotones, gas de fonones y gas de electrones a bajas temperaturas.
- 5) Fluctuaciones. Movimiento browniano. Relación de Einstein.
- 6) Magnetismo. El ferromagnetismo como ejemplo de transición de fase.

## **LABORATORIO IIIb . Idem laboratorio IIIa.**

### **FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO**

- 1) Estructura cristalina.
  - 2) Difracción por un cristal y red recíproca.
  - 3) Enlace cristalino.
  - 6) Fonones y vibraciones de red.
  - 7) Propiedades térmicas de los aisladores.
- Gas de Fermi de electrones Libres.
- 9) Bandas de energía.
  - 10) Cristales semiconductores.
  - 11) Superconductividad.

- 12) Propiedades dieléctricas. Cristales ferro eléctricos.
- 13) Diamagnetismo y paramagnetismo.
- 14) Ferromagnetismo y antiferromagnetismo.
- 15) Fenómenos ópticos en los aisladores.
- 16) Defectos puntuales y dislocaciones.
- 17) Constantes elásticas y ondas elásticas en cristales.

## **FÍSICA COMPUTACIONAL**

- 1) Operaciones básicas. Diferenciación e integración numéricas (algoritmos elementales). Raíces de una ecuación. Método de bisección. Método de Newton. Discusión sobre la precisión de los métodos desarrollados.
- 2) Solución de sistemas de ecuaciones lineales. Eliminación de Gauss-Jordán. Descomposición LU. Determinante e inverso de una matriz. Problema de valores propios.
- 3) Funciones especiales. Funciones Gamma; factoriales; coeficientes binomiales. Funciones de Bessel de orden entero y fraccional. Armónico esférico.
- 4) Ecuaciones diferenciales en derivadas parciales. Problemas con valores iniciales. Métodos de frontera. Método del artillero.
- 5) Ecuaciones diferenciales en derivadas parciales. Problemas con valores iniciales. Método de relajación.
- 6) Método Monte Carlo.

En cada tema, el docente elegirá uno o más ejemplos de problemas físicos que ilustren las técnicas de cálculo presentadas.

## **MECÁNICA DE LOS FLUIDOS**

- 1) La aproximación del continuo. Tensor de tensiones y tensor de deformaciones. Descripciones de Lagrange y de Euler. Ecuación de Cauchy. Fluidos conductores: los plasmas.
- 2) La aproximación de fluido ideal. Ecuación de continuidad. Ecuación de Euler. Teorema de Bernoulli. Conservación de la vorticidad. Movimiento potencial. Flujo incomprensible.
- 3) Fluido real. Ecuación de Navier. Ecuación de la energía. Aplicaciones.
- 4) La aproximación flúidística para gases de partículas neutras y con carga eléctrica. Relación con aproximación cinética: Ecuaciones de Boltzman y de Vlasov. Teoría del transporte.
- 5) Ondas e inestabilidades en fluidos. Aplicaciones.

# Programas de las Asignaturas de la Orientación Astronomía

## INTRODUCCION A LAS CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL ESPACIO I

Curso Teórico-Experimental (5hs sem.)

El curso consistirá en exposiciones orales de los temas del curso (2 hs. sem.) y la realización de experiencias de trabajo práctico relativas a esos temas (3hs sem.). Las experiencias promoverán el acercamiento del alumno a la metodología de trabajo científico a través de la obtención de datos y su manipulación.

- 1) **INTRODUCCION:** La Tierra como sistema. Historia de los conceptos fundamentales. El enfoque sistémico de los procesos dinámicos en Ciencias de la Tierra y el Espacio. Enfoques metodológicos: observación. Experimentación y modelización.
- 2) **EL UNIVERSO:** Leyes de la radiación. Origen y Evolución del Universo. Galaxias y Estrellas. Nubes interestelares.
- 3) **SISTEMAS PLANETARIOS:** El Sistema Solar y los Planetas extrasolares. Origen y evolución. Origen del sistema Tierra-Luna. Física solar y Clima Espacial.
- 4) **EVOLUCION Y ESTRUCTURA DE LA TIERRA:** La Tierra en el espacio. Esferas terrestres: Geosfera, Hidrosfera, Atmósfera, Magnetosfera. Geosfera: rocas, sedimentos y suelos. Estructura de la Tierra. Hidrosfera: corrientes oceánicas, interacción con la atmósfera y criosfera. Atmósfera: Composición y estructura. Magnetosfera: campos magnéticos. El viento solar y las tormentas magnéticas. Biosfera.
- 5) **EXPLORACION ESPACIAL.** Sistema de propulsión y navegación espacial. Satélites artificiales: tipos y órbitas. Usos de la tecnología espacial. Exploración planetaria.
- 6) **ORIGEN DE LA VIDA:** Condiciones prebióticas en la Tierra primitiva. El caldo orgánico. La teoría de la panspermia.
- 7) **ERAS GEOLOGICAS:** Las divisiones básicas. Extinciones masivas. Glaciaciones. Ciclos de Milankovitch.

### **Ejemplo de experiencias (se realizarán entre 6 y 8 experiencias a lo largo del curso):**

Tema 2: Profundidad óptica de una nube, La Constante Solar, Conteo de Galaxias, Materia oscura del halo galáctico, Estrellas Binarias

Tema 3: Perfil de densidad de la Nebulosa Solar, Planetas extrasolares, Cráteres de impacto en la Luna

Tema 4: Reconocimiento de minerales y rocas, Modelos de estructuras en la Litosfera, El agujero de Ozono, Calentamiento atmosférico. Corrientes Oceánicas, Eyección Coronal de Masa.

Tema 5: Misiones Espaciales

Tema 6: Lugares posibles de Vida

### *Bibliografía:*

*Astronomía General*, D. Galadí y J. Gutierrez - Ed. Omega

*Astronomy Today*, C. McMillan - Ed. Prentice Hall

*Encyclopedia of the Solar System*, P. Weissman y otros - Ed. Academic Press

*Cosmology a first course*, M. Lachieze-Rey - Ed. Cambridge Univ. Press

*Our Changing Planet*, F. Mackenzie - Ed. Prentice Hall  
*Ciencias de la Tierra*, E. Tarbuck y F. Lutgens - Ed. Prentice Hall  
*Earth: Evolution of a habitable world*, J. Lunine - Ed. Cambridge Univ. Press  
*Programas de la serie CLEA.*

## **INTRODUCCION A LAS CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL ESPACIO II**

Curso Teórico-Experimental (5hs sem)

Idem características que “INTRODUCCION A LAS CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL ESPACIO I”.

- 1) **GEOSFERA:** Estructura interna de la tierra. Petrología. Sismología. Magnetismo y gravedad terrestre. Tectónica de Placas. Volcanismo.
- 2) **ATMOSFERA:** Definición. Composición. Balance de Energía. Estructura vertical. Escalas de movimiento. La atmósfera como un gas ideal. Equilibrio hidrostático. Equilibrio geostrofico. Circulación General.
- 3) **HIDROSFERA:** Ciclos hidrológicos. Estados del agua. Sistemas acuáticos. Origen y composición de los océanos. Escalas de variabilidad. Circulación oceánica.
- 4) **MAGNETOSFERA:** Heliosfera y medio interplanetario: rayos cósmicos, gas interestelar y viento solar. Magnetosferas. Plasma interplanetario e interacción con superficies, magnetosferas y atmósferas. Cinturones de radiación. Tormentas geomagnéticas. Clima espacial.
- 5) **INTERACCIONES** dinámicas de las diferentes capas terrestres. El clima de la Tierra como acoplamiento de procesos atmosféricos y oceánicos. Acoplamiento de procesos geofísicos y biológicos. Biogeoquímica de ecosistemas. Los Ciclos.
- 6) **PLANETOLOGIA COMPARADA:** Superficies e interiores de planetas terrestres. Núcleo, manto y corteza. Esculpido de superficies: cráteres de impacto, vulcanismo, tectónica erosión. Atmósferas de planetas terrestres. Agua en el sistema solar.
- 7) **CAMBIO GLOBAL:** Alteraciones en los Ciclos del Carbono, Metano e Hidrológico. Paleoclimas y Paleoambientes. Cambios a escala global y regional de los ecosistemas terrestres. Dimensiones Humanas del Cambio Global. Procesos catastróficos globales.

### **Experiencias:**

Presentarán las mismas características que las experiencias de “INTRODUCCION A LAS CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL ESPACIO I”. Se realizarán entre 6 y 8 experiencias a lo largo del curso. Además de las listadas anteriormente se pueden agregar experiencias como:  
Tectónica de Placas, Balance de energía atmosférico, Generación y pérdida de atmósferas, Procesos geológicos, El Ciclo del Carbono y el Cambio Global.

### *Bibliografía:*

Idem que “INTRODUCCION A LAS CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL ESPACIO I”.

## ASTRONOMIA FUNDAMENTAL Y GEODESIA

La esfera celeste y sistemas de coordenadas. Tiempo sidereo y solar. Sistemas de referencia y Sistema Local de Reposo (LSR). Coordenadas geocéntricas: refracción, paralaje y aberración diurnas. Modelo gravitacional terrestre. Geoide. Latitud geodética, geocéntrica y astronómica. La rotación terrestre. Fenómenos geodinámicos: movimiento polar, mareas, movimiento de placas. Coordenadas heliocéntricas y baricéntricas. Paralaje y aberración anual. Aberración planetaria. Precesión y nutación: precesión lunisolar y planetaria, precesión general, nutación lunisolar, nutación en longitud y en oblicuidad. Tiempo: tiempo atómico, Tiempo Universal, tiempo sidereo medio y aparente, ecuación de los equinoccios, tiempo dinámico, meridiano de efemérides, años trópico, civil, sidéreo, anomalístico, época Juliana y Besseliana. Movimiento propio: caso movimiento rectilíneo, aceleración de perspectiva, movimiento paraláctico y peculiar. Coordenadas medias y aparentes: posición media, media estándar, verdadera, aparente, topocéntrica. Catálogos astrométricos y sistemas de referencia fundamentales. Movimiento y configuraciones planetarias, computo de efemérides, periodo sinodico, fases, coordenadas planetográficas, rotación sinodica. Ocultaciones y eclipses. Satélites artificiales: orbitas y usos. Sistemas Satelitales de Navegación Global. Sistema de Información Georeferencial

### Bibliografía :

"Spherical Astronomy", Green.

"Textbook on Spherical Astronomy", Smart.

"Elementos de Astronomia de Posición", José Gregorio Portilla.

"Explanatory Supplement to The Astronomical Almanac"

"Computational Spherical Astronomy", Taff

"Linear Algebra, Geodesy, and GPS", Gilbert Strang y Kai Borre

"Geodesy and Gravity", John Whar

## PLANETOLOGÍA Y FISICA SOLAR

Propiedades físicas y dinámicas del sistema solar. Poblaciones. El Sol: estructura, energía, actividad solar, heliósfera y entorno galáctico. Calentamiento solar y transporte de energía. Atmósferas planetarias: estructura térmica, efecto invernadero, composición, meteorología, evolución y clima. Superficies planetarias. Procesos geológicos: vulcanismo, tectónica, craterización, erosión. Interiores planetarios: modelos, interiores de planetas terrestre y satélites, interiores de planetas gigantes. Magnetosferas y medio interplanetario. Clima Espacial. Meteoritos. Asteroides. Cometas. Anillos planetarios. Formación de estrellas y planetas: nebulosa solar, disco protoplanetario, formación de granos, planetesimales y embriones, formación de planetas terrestres y gigantes, migración, rotación y origen de satélites. Sistemas extrasolares.

### Bibliografía:

"Planetary Sciences", I. De Pater and J. Lissauer

"Physics of the Solar System", Bertotti y otros.

"Moons and Planets", Hartmann

"The New Solar System", J.K. Beatty, Petersen and A. Chaikin

"Encyclopedia of the Solar System", Weissman, McFadden and Johnson

"Encyclopedia of Planetary Sciences", Shirley and Fairbridge

"Astronomia e Astrofísica", Kepler de Souza y Maria de Fatima Oliveira

## ASTROFISICA ESTELAR

Conceptos astrofísicos generales. Generación y transporte de energía en estrellas. Escalas de tiempo estelares. Equilibrio hidrostático. Teorema del Virial. Efectos relativistas. Formación y evolución estelar. Tipos espectrales. Función de luminosidad. Propiedades de la materia. Ecuaciones de estado. Materia y radiación. Materia degenerada. Materia a altas temperaturas. Estructura estelar. La ecuación de equilibrio hidrostático. Modelos estelares simplificados. Politropos. Transporte de energía y radiación. Transporte radiativo. Opacidad y emisividad. La ecuación de transferencia radiativa. Radiación del cuerpo negro. Equilibrio radiativo. Absorción y scattering. La atmósfera solar. Transporte de energía no radiativo. Propiedades atómicas de la materia. El átomo de hidrógeno. Excitación térmica e ionización. La fórmula de Saha. Probabilidad de transición. Opacidad de líneas. Opacidad en el continuo. Ensanchamiento de líneas espectrales. La curva de crecimiento. Rotación estelar. El perfil de rotación. Corrección estadística por proyección axial. Rotación en estrellas de la secuencia principal. Interiores estelares. El gas ideal. Electrones y fotones en estrellas. Reacciones a altas temperaturas. Generación de energía. Conceptos físicos de la fusión nuclear. Combustión nuclear del hidrógeno y del helio. Combustión nuclear de núcleos más pesados. Evolución estelar. Masa máxima y mínima de una estrella. Formación de protoestrellas. Enanas blancas: masa, radio y proceso de enfriamiento. Masa límite de Chandrasekhar. Colapso de un carozo estelar. Supernovas. Estrellas de neutrones. Agujeros negros.

### Bibliografía

- “Astrophysics I. Stars”, R. Bowers & T. Deeming, Jones & Bartlett Publishers, 1984.
- “The Observation and Analysis of Stellar Photospheres”, D.F. Gray, Wiley, 1976.
- “The Physics of Stars”, A.C. Phillips, Wiley, 1994.
- “The Stars”, E.L. Schatzmann & F. Praderie, Springer, 1993.
- “Stellar Structure and Evolution”, R. Kippenhahn & A. Weigert, Springer 1990.
- “Introduction to Stellar Astrophysics”, Vols. 2 y 3, Bohm-Vitense.

## MECANICA CELESTE

Movimiento central. Atracción newtoniana. Distribución continua de materia. Potencial de un sólido y el caso planetario. Mareas y deformación. Límite de Roche. Transferencia de momento angular. Problema de dos cuerpos. Órbitas baricéntrica y relativa. Órbita en el espacio. Cálculo de efemérides. Movimiento de un cohete. Transferencia de órbitas. Dinámica de vuelos espaciales. Problema de tres cuerpos. Problema restringido. Integral de Jacobi. Criterio de Tisserand y velocidad relativa de encuentro. Superficies y curvas límite de Hill. Esfera de Hill. Puntos de equilibrio y estabilidad. Soluciones Lagrangeanas. Problema de N cuerpos. Ecuaciones de movimiento y las 10 integrales conocidas. Teorema del Virial. Función perturbadora. Esfera de influencia. Integración numérica de las ecuaciones de movimiento. Nociones de teoría de perturbaciones: ecuaciones planetarias de Lagrange, formulación de Gauss. Algunos ejemplos de evolución secular.

### Bibliografía:

- "Fundamentals of Celestial Mechanics", Danby.
- "Orbital Motion", E. Roy
- "Introducción a la Mecánica Celeste", Ignacio González Martínez-Pais

## ASTRONOMIA GALÁCTICA Y EXTRAGALÁCTICA

Materia interestelar: procesos físicos en la componente gaseosa. Granos interestelares. Nubes moleculares y formación estelar. Remanentes de supernova. Estructura de la Vía Láctea. Galaxias: morfología y propiedades básicas. Dinámica de cúmulos globulares y de Galaxias. Evolución galáctica. Núcleos activos de galaxias: Seyfert, radiogalaxias, BL Lacertae, quasars.

Cosmología: expansión del universo, ley de Hubble, radiación cósmica de fondo, factor de escala, cosmología newtoniana. Modelos de Friedman-Lemaitre, parámetros cosmológicos. Inflación. Nucleosíntesis primordial. Anisotropías en la radiación cósmica de fondo. Formación de estructuras.

### Bibliografía:

"Astrophysics", Tomo II, Bowers y Deeming  
"Physics of the Galaxy and Interstellar Matter", Scheffler y Elasser.  
"Astrofísica Extragaláctica", notas de curso de Gastao Bierrenbach de Lima Neto  
"Introducao a Cosmologia", Laerte Sodre.  
"The Milky Way as a Galaxy", Gilmore y otros.  
"Galactic Dynamics"- Binney & Tremaine  
"Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei"- Osterbrock  
"Principles of Physical Cosmology"- Peebles & Peebles

## TECNICAS INSTRUMENTALES

Colección, detección y tratamiento de la información astronómica. Óptica de Fourier. Telescopios: óptica y aberraciones. Espectrometría. Efectos de la atmósfera: refracción, extinción, seeing, PSF. Detectores modernos: principios del CCD. Características, propiedades, electrónica y ruido en el CCD. Reducción de imágenes CCD: bias, darks, flats. Relación señal/ruido. Visualización de imágenes. Procesamiento de imágenes: deconvolución, filtros. Astrometría. Fotometría. Espectroscopia. Manejo de software para tratamiento de imágenes CCD. Manejo de efemérides, cartas, catálogos, cámara y telescopio.

### Bibliografía:

"Observational Astrophysics", P. Lena  
"Introduction a la Theorie de l'Observation en Astrophysique", H. Rebol  
"Astronomical Techniques", C. Kitchin  
"CCD Astronomy", Christian Buil.  
"Astronomical CCD Observing and Reduction Techniques", S. Howell, ASP Conference series Vol 23.  
"An Introduction to Astronomical Photometry Using CCDs", W. Romanishin.  
"The New CCD Astronomy", R. Wodaski  
"Handbook of CCD Astronomy", S. Howell  
"Astronomical Techniques", W. Hiltner  
The New CCD Astronomy, R. Wodaski

Handbook of CCD Astronomy, S. Howell  
Astronomical Techniques, W. Hiltner

## **QUÍMICA GENERAL INORGÁNICA**

Estequiometría. Núcleo atómico. Radioactividad. Estructura atómica. Enlace químico. Equilibrio químico. Termoquímica. Electroquímica. Relaciones entre propiedades y enlace. Enlaces de baja energía.

## **TRABAJO FINAL**

Podrá ser de carácter teórico, experimental, observacional o mixto y estará supervisado por un orientador. Durante el curso el estudiante deberá realizar por lo menos una disertación sobre estado de avance del tema de su elección y presentará un trabajo monográfico final que defenderá en el examen donde pondrá de manifiesto capacidad crítica y un conocimiento lo más completo posible de la bibliografía correspondiente.

# Programas de las Asignaturas de la Orientación Ciencias de la Atmósfera

## Taller de Introducción a la Meteorología (TIM)

**Objetivo:** Introducir, de manera informal pero directa, a los estudiantes al lenguaje (variables, fenómenos, métodos, instituciones, etc.) de las disciplinas de la atmósfera y el clima, y a la formulación, con base científica, de algunos problemas relacionados. Se utilizarán herramientas elementales del cálculo diferencial, el álgebra lineal, la física general, algunas herramientas computacionales estándar, etc. (esto último colaborará, y no competirá, con la formación en matemática y física que en paralelo estará recibiendo el estudiante). Se utilizará información (datos) relacionados con el clima del Uruguay. Iniciación a la consulta de diversas fuentes y a la ejecución y presentación de trabajo.

### **Contenido:**

- Nociones elementales sobre algunos fenómenos en la atmósfera y su descripción y tratamiento en base a datos observados, conceptos físicos y herramientas matemáticas.
- Algún ejemplo sobre manejo de datos y/o planteamiento y análisis de algún “problema” sencillo, con posibilidad de utilización de herramientas computacionales mínimas, y de alguna discusión utilizando conceptos elementales de física y matemática. Nociones sobre errores, cálculo diferencial, cambios de coordenadas, ecuaciones diferenciales elementales, unidades, dimensiones, análisis dimensional, nociones primarias en mecánica y gases ideales, elementos de estadística principalmente descriptiva, presentación de datos, gráficos, órdenes de magnitud, etc.
- Acercamiento a los procedimientos de medición y observación más frecuentes en ciencias de la atmósfera: estación meteorológica, nociones sobre procesamiento, disponibilidad, organización institucional (DNM, OMM, DNH, etc.)

## Elementos de Meteorología y Clima (EMyC)

**Objetivo:** Introducir, de manera ordenada, racional y sintética a los estudiantes a las bases científicas de los principales fenómenos en la atmósfera y del clima, utilizando elementos de la mecánica y de gases ideales (al nivel de física general), cálculo diferencial, y también estadística descriptiva, para la formulación (y hasta cierto punto derivación de) las relaciones cuantitativas entre las variables principales que participan en los fenómenos (velocidades, gradientes de temperaturas y presiones, etc.). Se introducirá al estudiante, también en el uso habitual de la terminología corriente en meteorología y clima, tanto de uso universal como específico de fenómenos peculiares del clima del Uruguay y de la región Sudeste de Sud América.

### **Contenido:**

- Introducción. Descripción de la composición y estructura de la atmósfera. Variables atmosféricas y la ley de gases ideales. Aire seco (y húmedo). Nociones sobre observación y medición de los fenómenos.
- Energía: Solar y terrestre. Calor y su transferencia en la atmósfera. Nociones de leyes de radiación. Efecto invernadero atmosférico. Albedo, radiación reflejada. Estructura vertical de la Atmósfera. Nociones del balance global (surplus “tropical”, transporte, etc.). El sol y las estaciones.

- Estabilidad Atmosférica: Ecuación Hidrostática, gradiente adiabático, estabilidad, inestabilidad, inversiones, etc. Nociones de humedad atmosférica. Introducción a la información descriptiva sobre tipos de nubes, precipitación, etc.

Movimientos atmosféricos. “Fuerzas” en la atmósfera. El viento de altura: viento geostrófico; viento gradiente. Vientos en superficie, influencia de la “fricción”. Movimientos verticales. Ejemplificación con fenómenos relevantes del clima global y regional y de la meteorología sinóptica. Nociones de sistemas locales de vientos. Nociones de Circulación General de la Atmósfera. Corrientes en chorro.

- Introducción a las nociones de “masas” de aire y frentes: nociones generales; características de relevancia en la región del Sudeste de Sud América; sus consecuencias en nuestro “tiempo” y en nuestro “clima”; diferencias y similitudes con otras regiones de Sudamérica y el mundo. Otros fenómenos asociados al contraste térmico: brisas, monzones. Fundamentos y presencia en nuestro “tiempo” y “clima”.

- Clasificación general de los climas. Nociones de variabilidad climática; de interacción océano atmósfera; etc. Otros: Ozono, Cambio Climático, etc.

### **Meteorología Dinámica y Taller Sinóptico (MD/TS)**

**Objetivo:** Introducción a las ecuaciones hidrodinámicas de la atmósfera y sus diversas aproximaciones, en especial aquellas relevantes para estudiar los movimientos de escala sinóptica. Justificación teórica de las ecuaciones cuasigeostróficas usadas para el pronóstico del tiempo y al análisis dinámico y energético de las ondas e inestabilidades baroclínicas. Introducción, en este contexto, a los temas usuales en meteorología sinóptica, ciclogénesis y frontogénesis y al pronóstico del tiempo.

**Contenido:** Ecuaciones hidrodinámicas de la atmósfera. Aproximación hidrostática y anelástica. Análisis de escala. Balance geostrófico. Ondas en la atmósfera y balance geostrófico. Aproximación cuasigeostrófica: predicción y diagnóstico del movimiento vertical. Vector Q. Estructura observada de la circulación extratropical y sistemas frontales; frontogénesis. Modelos idealizados de la inestabilidad baroclínica. Inestabilidad baroclínica en un modelo de dos capas, ciclo energético y movimiento vertical. Nociones de la generalización al caso continuo y de inestabilidad barotrópica.

### **Taller de Pronóstico (TP)**

**Objetivo:** Que el estudiante se ejercite en las técnicas de pronóstico del tiempo a partir de la práctica reiterada de análisis sinópticos y estudio de salidas de modelos numéricos.

**Contenido:** Diagnóstico y pronóstico. Análisis de superficie y de altura. Confeción de cortes espaciales según la situación sinóptica. Interpretación dinámica de modelos globales y regionales y de imágenes satelitales de órbita polar y geostacionaria. Confeción de pronósticos semanales y discusión sobre situaciones sinópticas características en la región.

## **Análisis de datos climáticos (ADC)**

**Objetivo:** Desarrollar en el estudiante habilidades para identificar y describir estructuras de datos climáticos, tanto en sus valores medios como en su variabilidad espacial y/o temporal; realizar aplicaciones al diagnóstico de relaciones entre distintas variables climáticas, y al pronóstico.

### **Contenido:**

**Análisis de datos univariados:** Revisión de algunos conceptos fundamentales: valores medios, indicadores de dispersión, percentiles. Correlaciones. Algunas distribuciones de probabilidad frecuentes en variables climáticas. Análisis de compuestos. Series temporales. Dominio temporal vs. dominio de frecuencias. Estacionariedad, tendencias, periodicidades y cuasi-periodicidades. Ciclos anual y diario en variables climáticas. Variabilidad en distintas escalas temporales (intraestacional, interanual, interdecadal). Separación de “señal” y “ruido”. Estimación y pruebas de hipótesis. Aplicaciones al diagnóstico y al pronóstico.

**Análisis de datos multivariados:** Modelos de regresión. Análisis de agrupaciones (cluster analysis). Análisis de componentes principales. Covariabilidad espacio-temporal entre dos campos de variables. Análisis de correlación canónica. Descomposición en valores singulares. Análisis discriminante. Estimación y pruebas de hipótesis. Aplicaciones **al diagnóstico y al pronóstico**

## **Modelación Numérica de la Atmósfera (MNA)**

**Objetivos:** El egresado de esta licenciatura se enfrentará a los resultados de un sinnúmero de simulaciones con modelos numéricos de la atmósfera, así se dedique al pronóstico del tiempo, al pronóstico interestacional del clima o a estudiar aspectos de variabilidad climática de baja frecuencia y cambio climático. La modelación numérica es, cada vez más, una herramienta central al trabajo de un Licenciado en Ciencias de la Atmósfera. Sin intentar formar expertos en modelación, se pretende sí, sentar los conceptos básicos de ésta subdisciplina para que el estudiante entienda la naturaleza de los modelos y se maneje con comodidad con ellos.

**Contenido:** Discretización en el tiempo y en el espacio. Truncamiento y redondeo. Aliasing. Fenómenos no resueltos explícitamente. Noción de parametrización, ejemplos. Diferencias finitas: Consistencia, convergencia, estabilidad. Ejemplos de resolución numérica con ecuaciones diferenciales de primer orden. Ecuaciones en derivadas parciales. Ecuación de advección en 1D y 2D. Dispersión computacional y inestabilidad computacional no lineal. Modelos numéricos de la atmósfera. Coordenada vertical y condición de borde inferior. Resolución horizontal. Parametrización de procesos físicos. Acoplamiento al océano y a otros subsistemas climáticos. Modelos globales y regionales. Ejemplos de modelos disponibles en la comunidad científica internacional, características y desempeño.

## **Complementos en Meteorología (CenM)**

**Objetivo:** Brindar al estudiante un complemento en algunos temas de meteorología que no pudieron ser abordados en los cursos introductorios. Se pretende dar también una visión unificada del rol de los distintos fenómenos atmosféricos en la circulación general y en la sensibilidad del clima frente a perturbaciones como por ejemplo en la concentración de los gases de invernadero.

**Contenido:** Movimientos oscilatorios en la atmósfera y su papel en el ajuste geostrófico. Ondas de gran escala en los trópicos y acoplamiento con la convección. Organización de la convección. Rol de los sistemas monzónicos en la circulación general. Mecanismos de retroalimentación del sistema climático. Discusión de trabajos de investigación de actualidad.

### **Trabajo especial**

**Objetivo:** Dar la oportunidad al estudiante de poner en práctica, consolidar e integrar los conocimientos adquiridos en otras asignaturas mediante trabajos dirigidos de carácter personal o pasantías de contenido técnico supervisadas por el personal docente.

**Contenido:** El estudiante elegirá, con la supervisión de un docente responsable, una actividad que profundice en algunos de los conocimientos o prácticas adquiridos en el trabajo curricular (búsqueda bibliográfica, ayudantía en trabajo de investigación, pasantía de carácter técnico o practicantado, etc.). Se exigirá un informe final que dé cuenta del trabajo realizado.