

CENTROS REGIONALES DE FORMACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA ESPACIALES  
(AFILIADOS A LAS NACIONES UNIDAS)

Ciencia espacial y atmosférica

*Plan de estudios*



Naciones Unidas

CENTROS REGIONALES DE FORMACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA ESPACIALES  
(AFILIADOS A LAS NACIONES UNIDAS)

Ciencia espacial y atmosférica

*Plan de estudios*

Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre  
Oficina de las Naciones Unidas en Viena



Naciones Unidas, 2003

## Prefacio

1. Hace miles de años, en un pequeño planeta rocoso en la órbita de una modesta estrella perteneciente a una galaxia común en espiral, nuestros remotos antepasados miraban hacia lo alto intrigados por el lugar que ocupaban entre el cielo y la tierra. En el siglo XXI, las personas se plantean las mismas preguntas profundas sobre el origen y la evolución del universo, la aparición del hombre, hacia dónde se dirige la humanidad, y la posibilidad de que existan otros seres vivientes en otras partes del universo. Tras sólo un abrir y cerrar de ojos de tiempo cósmico, esas preguntas están empezando a recibir una respuesta. En los últimos 40 años, las sondas y los observatorios espaciales han desempeñado una función esencial en ese proceso.

2. Las investigaciones y misiones relacionadas con la ciencia espacial y atmosférica generan a diario noticias a nivel mundial. En ese marco se ejecutan programas relacionados con la astronomía, el sistema solar y el sol y su interacción con la Tierra. La ciencia espacial y atmosférica abarca todo lo comprendido entre los niveles medios de la atmósfera terrestre (que empieza a una altura de alrededor de 60 kilómetros) y los confines del universo situados a miles de millones de años luz de distancia. Es posible que la ciencia espacial y atmosférica pueda comprenderse mejor si se examinan los ámbitos que no forman parte de ella, como los siguientes:

a) Los programas sobre ciencias de la Tierra se ocupan de las ciencias relativas a la Tierra hasta los niveles medios de la atmósfera (a una altura de alrededor de 60 kilómetros). Incluyen temas como las investigaciones sobre el calentamiento de la Tierra y el agotamiento del ozono;

b) La exploración humana del espacio y el desarrollo de las actividades espaciales se están llevando a cabo mediante estaciones espaciales y naves espaciales tripuladas. Si bien la ciencia espacial y atmosférica utiliza en ocasiones naves espaciales y estaciones espaciales como medios de transporte para experimentos espaciales, no es la principal usuaria de esos vehículos y no interviene en la gestión de los mismos;

c) Los programas de investigaciones físicas y biológicas se encargan de investigaciones relativas a la ciencia de los materiales y las ciencias biológicas realizadas a bordo de naves espaciales y estaciones espaciales;

d) Los programas de tecnología aeroespacial se dedican al desarrollo de tecnologías para mejorar la fabricación de aviones y futuros vehículos de lanzamiento (cohetes).



# Índice

	<i>Página</i>
Prefacio .....	iii
Notas explicativas .....	vi
Introducción .....	1
Establecimiento de los centros regionales de formación en ciencia y tecnología espaciales .....	2
Reunión de expertos de las Naciones Unidas sobre los centros regionales de formación en ciencia y tecnología espaciales: situación actual y evolución futura ..	3
Plan de estudios sobre ciencia espacial y atmosférica .....	4
Objetivo del curso y temas recomendados .....	4
Examen de las recomendaciones del Comité de examen del plan de formación. ....	7
Plan de estudios revisado para el tercer curso sobre ciencia espacial y atmosférica ..	8
Anexos	
I. Especificaciones relativas al plan de estudios del tercer curso .....	12
II. Plan de estudios revisado para el segundo curso .....	15
III. Plan de estudios del primer curso .....	20
IV. Material didáctico recomendado .....	23

## Notas explicativas

En la presente publicación aparecen las siguientes abreviaturas y siglas:

capa E esporádica	rastros de la región E observados en un ionograma (modo de propagación de VHF a través de la ionosfera que es de naturaleza esporádica)
CCD	dispositivo de transferencia de carga
CET	contenido electrónico total
CO <sub>2</sub>	anhídrido carbónico
DIAL	lidar de absorción diferencial
difusión en la región F	rastro esparcido de la región F observado en un ionograma (fenómeno nocturno de inestabilidad del plasma característico de la ionosfera ecuatorial de la Tierra)
f/#	un telescopio de razón focal f/# tiene una apertura igual a un 1/# de su distancia focal
GMRT/OSRT	radiotelescopio gigante de longitudes de ondas métricas/radiotelescopio sintético de Ooty
GPS	sistema mundial de determinación de la posición
He-Ne	helio-neón
HF	alta frecuencia
IR	infrarrojo
MCP	placa microcanal
MgF <sub>2</sub>	fluoruro de magnesio
MST	mesosfera/estratosfera/troposfera
MUF	frecuencia máxima utilizable
rayos X	radiación electromagnética con longitudes de onda menores que las de los rayos ultravioletas pero mayores que las de los rayos gamma
Región HI	región del espacio en la que hay una gran cantidad de gas hidrógeno común
RPA	analizador del potencial de frenado
SIG	sistema de información geográfica
UV	ultravioleta
VHF	muy alta frecuencia
VLBI	interferometría de muy larga base

## Introducción

La formación en ciencia y tecnología espaciales es una actividad que puede desarrollarse a los niveles elemental, secundario y universitario. Las naciones presentes en el espacio han introducido elementos de ciencia y tecnología espaciales en los planes de estudio vigentes a esos niveles. Tal innovación no ha tenido lugar en muchos países en desarrollo, en parte porque no se valoran lo suficiente las ventajas de esa ciencia y tecnología, y en parte por no haber progresado aún satisfactoriamente los medios y recursos destinados a la enseñanza de la ciencia y la tecnología en las instituciones docentes. La formación en ciencia y tecnología espaciales ha adquirido un carácter intensamente interactivo en los países desarrollados; la World Wide Web y otras tecnologías de la información se han convertido en útiles instrumentos de programas de enseñanza a todos los niveles.

La incorporación de elementos de ciencia y tecnología espaciales en los planes de estudio de ciencias a nivel universitario puede servir a una doble finalidad en los países desarrollados y los países en desarrollo. Puede permitir a todos ellos aprovecharse de las ventajas que brindan las nuevas tecnologías, ventajas que, en muchos casos, son frutos indirectos de la ciencia y tecnología espaciales. Puede dar nuevo impulso al sistema educativo, introducir las concepciones de la alta tecnología en forma no esotérica y contribuir a la creación de capacidad nacional en el ámbito científico y tecnológico en general. A este respecto, Lewis Pyenson subrayó en su reciente obra titulada *Servants of Nature*<sup>1</sup> que:

“La descentralización geográfica y la innovación interdisciplinaria se han convertido en consignas de la ciencia de tradición académica. El procesamiento electrónico de la información hace hasta cierto punto innecesaria la presencia de un científico o especialista en un antiguo centro de enseñanza. Las universidades se han adaptado por doquier a las nuevas circunstancias socioeconómicas ampliando sus planes de estudio. Siempre han respondido de la misma manera, aunque nunca tan rápidamente como desearían sus críticos. La innovación mesurada y deliberada es uno de los pesados fardos que soporta el mundo académico. Es también una gran virtud. Los campos del conocimiento nacientes sólo se convierten en nuevas disciplinas científicas una vez que han encontrado un lugar seguro en las universidades. A ellas tornamos la mirada en espera de una opinión docta sobre las últimas innovaciones. Las nuevas ideas científicas surgen en contextos variados, pero sólo se convierten en patrimonio común de la humanidad cuando son procesadas por una institución de enseñanza superior como la universidad moderna.”

Tanto en los países en desarrollo como en los países desarrollados, la enseñanza de las ciencias a nivel universitario plantea múltiples dificultades, aunque éstas son de mayor magnitud en los países en desarrollo. El problema general con que tropieza la enseñanza de las ciencias es que los estudiantes no pueden contemplar ni percibir los fenómenos que se explican, lo que suele traducirse en incapacidad para aprender principios básicos y comprender las relaciones existentes entre dos o más conceptos y su importancia práctica para las dificultades de la vida real. A esos problemas se añade la falta de capacidad en los aspectos conexos de las matemáticas así como lo concerniente a estrategias de solución de problemas. Hay también dificultades lingüísticas en los países en que la enseñanza de las ciencias se efectúa en una

lengua distinta de la nacional. Los países desarrollados han superado, a lo largo de los años, la mayor parte de los problemas básicos, salvo tal vez un problema psicológico, concretamente el de que los estudiantes vean en la ciencia una materia difícil. En cambio, en los países en desarrollo subsisten aún problemas fundamentales agravados por el hecho de que no hay suficiente personal docente académica y profesionalmente bien capacitado.

### **Establecimiento de los centros regionales de formación en ciencia y tecnología espaciales**

La Asamblea General hizo suya, en su resolución 45/72 del 11 de diciembre de 1990, la recomendación del Grupo de Trabajo Plenario de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos, en la forma aprobada por la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, de que las Naciones Unidas tomaran la iniciativa, con el apoyo activo de sus organismos especializados y otras organizaciones internacionales, de establecer centros regionales de capacitación en ciencia y tecnología espaciales en instituciones educativas nacionales o regionales que ya existan en los países en desarrollo (A/AC.105/456, anexo II, inciso n) del párr. 4).

La Asamblea General hizo también suya, en el párrafo 30 de su resolución 50/27 del 6 de diciembre de 1995, la recomendación de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos para que esos centros se establecieran lo antes posible sobre la base de su afiliación a las Naciones Unidas, la cual proporcionaría a los centros el reconocimiento necesario y aumentaría las posibilidades de atraer donantes y establecer relaciones académicas con instituciones nacionales e internacionales relacionadas con el espacio.

Se han creado centros regionales en la India, para la región de Asia y el Pacífico, en Marruecos y Nigeria, para la región de África, en el Brasil y México, para la región de América Latina y el Caribe, y en Jordania, para la región de Asia Occidental bajo los auspicios del Programa de las Naciones Unidas de aplicaciones de la tecnología espacial, ejecutado por la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre (A/AC.105/749). El objetivo de esos centros es acrecentar la capacidad de los Estados Miembros, a nivel regional e internacional, en las diferentes disciplinas de la ciencia y la tecnología espaciales que tengan posibilidades de promover su desarrollo, científico, económico y social. Cada uno de los centros imparte programas de enseñanza de posgrado, investigación y aplicaciones que prestan atención especial a la teleobservación, las comunicaciones por satélite, la meteorología por satélite y la ciencia espacial para docentes universitarios así como para científicos dedicados a la investigación y las aplicaciones. En todos los centros se imparten cursos de nueve meses a nivel de posgrado (de teleobservación, comunicaciones por satélite, aplicaciones meteorológicas de los satélites, y ciencias del espacio y la atmósfera) basados en los planes de estudio modelo resultantes de la Reunión de expertos Naciones Unidas/España sobre la elaboración de planes de estudio para los centros regionales de formación en ciencia y tecnología espaciales, celebrada en Granada (España) en 1995. Desde ese mismo año estos planes de estudio (A/AC.105/649 y <http://www.oosa.unvienna.org/SAP/centres/centres.htm>) son objeto de disertaciones y exámenes en reuniones regionales e internacionales con fines de formación.

La Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (UNISPACE III), celebrada en Viena en julio de 1999, recomendó que se estableciera colaboración entre los centros regionales y otras organizaciones nacionales, regionales e internacionales con el fin de potenciar los elementos componentes de sus respectivos planes de estudio<sup>2</sup>. En su resolución 54/68 del 6 de diciembre de 1999, la Asamblea General hizo suya la resolución de UNISPACE III titulada “El milenio espacial: la Declaración de Viena sobre el Espacio y el Desarrollo Humano”, en la que se recomendaban medidas encaminadas a asegurar mecanismos de financiación sostenible de los centros regionales<sup>3</sup>.

### **Reunión de expertos de las Naciones Unidas sobre los centros regionales de formación en ciencia y tecnología espaciales: situación actual y evolución futura**

La Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre de la Secretaría organizó, en cooperación con la Agencia Espacial Europea (ESA), la Reunión de expertos de las Naciones Unidas sobre los centros regionales de formación en ciencia y tecnología espaciales: situación actual y evolución futura, que se celebró del 3 al 7 de septiembre de 2001 en Frascati (Italia). Fue anfitrión de la misma el Instituto Europeo de Investigaciones Espaciales de la ESA en Frascati.

La citada reunión examinó la situación en lo relativo al establecimiento y actividades de los centros regionales con miras a acrecentar la cooperación entre ellos. Su principal objetivo fue pasar revista y actualizar los planes de estudio a nivel universitario y en los distintos ámbitos culturales sobre cuatro disciplinas: teleobservación, meteorología por satélite, comunicaciones por satélite y ciencia del espacio. La reunión tuvo en cuenta que la formación varía apreciablemente de un país a otro e incluso entre las instituciones de un mismo país, lo que da lugar a divergencias entre los planes de estudio de la ciencia y la tecnología espaciales en lo que respecta al contenido de los cursos y las modalidades de presentación. La reunión hizo observar que el modelo de plan de estudio (A/AC.105/649) había contribuido a resolver esos problemas.

La reunión constituyó cinco grupos de trabajo encargados de los siguientes temas concretos y del respectivo plan de formación: a) cuestiones de gestión de los centros; b) teleobservación; c) meteorología por satélite; d) comunicaciones por satélite; y e) ciencia del espacio. Los grupos de trabajo aprovecharon para su labor los conocimientos y competencia de los participantes, teniendo en cuenta a la vez los resultados de los anteriores cursos de nueve meses a nivel de posgrado, en particular los organizados desde 1996 en el Centro de Formación en Ciencia y Tecnología Espaciales para Asia y el Pacífico y, desde 1998, en el Centro Regional Africano de Ciencia y Tecnología Espaciales, institución francófona, y en el Centro Regional Africano de Formación en Ciencia y Tecnología Espaciales, institución anglófona.

La reunión, sirviéndose de sus grupos de trabajo, actualizó los cuatro planes de estudio y elaboró programas de cursos que se distinguen de la mayoría de los que existen en la literatura sobre la materia y en la World Wide Web. Sus fundamentos son la física, las matemáticas y la ingeniería tal como se enseñan en numerosas universidades de todo el mundo. No están concebidos a la medida de ningún

proyecto o misión espaciales concretos que puedan haber sido o ser ejecutados por una institución determinada.

## **Plan de estudios sobre ciencia espacial y atmosférica**

El grupo de trabajo sobre ciencia espacial y atmosférica, establecido con ocasión de la celebración de la Reunión de Expertos de las Naciones Unidas sobre centros regionales de formación en ciencia y tecnología espaciales: situación actual y evolución futura, examinó y revisó el plan de estudios para el tercer curso (anexo I), que se inició en el Centro de Formación en Ciencia y Tecnología Espaciales para Asia y el Pacífico el 1º de agosto de 2002. Los planes de estudios para los cursos segundo y primero figuran en los anexos II y III, respectivamente.

### **Objetivo del curso y temas recomendados**

El grupo de trabajo opinó que el curso sobre ciencia espacial y atmosférica debía atender a la necesidad de los países en desarrollo de crear una capacidad general en ciencia espacial como apoyo esencial para el desarrollo de infraestructura. Debía ser adecuado para estudiantes con conocimientos de ciencias físicas o ingeniería que desearan realizar estudios de posgrado u otras investigaciones en ciencia espacial; profesores universitarios, de la enseñanza superior o la enseñanza secundaria que requirieran conocimientos generales sólidos sobre ciencia espacial; ingenieros que participaran en misiones espaciales, tanto en el segmento espacial como en el terrestre; y administradores de cualquiera de los ámbitos de la actividad espacial.

En cuanto a la estructura general del curso, deberían seguirse las mismas pautas de los demás cursos de posgrado, a saber, nueve meses de instrucción aplicando diversos métodos de enseñanza -clases magistrales, clases dirigidas, ejercicios prácticos, seminarios, etc.-, para culminar con un proyecto piloto de dos meses de duración, aproximadamente. A esto le seguiría un proyecto de investigación de un año, por lo general en el país de origen del participante y relativo a ese país, en el transcurso del cual los estudiantes tendrían dos supervisores, uno del centro regional y otro de su país de origen. Se consideró muy conveniente que el proyecto piloto constituyera la primera fase del proyecto de un año, ya que de ese modo se garantizaría que el estudiante regresara a su país en posesión de algunos datos por lo menos, una capacitación adecuada en materia de investigación y una relación de trabajo con su supervisor del centro. Ello implicaría que incluso el proyecto piloto se seleccionara en consulta con el supervisor del país de origen.

El grupo de trabajo subrayó que los centros regionales debían quedar en libertad de utilizar los métodos de enseñanza y los criterios de selección que prefiriesen y que fuesen apropiados para su región, sus condiciones concretas y los conocimientos especializados que tuvieran a su disposición. El grupo de trabajo recomendó siete temas; también se sugirió y examinó un octavo tema, titulado "Geodesia espacial". El grupo estimó que cabía esperar de un curso adecuado sobre ciencia espacial y atmosférica que abarcara varios (entre tres y cinco) de los siete u ocho temas, con arreglo a lo que decidiera el centro en el que se impartiera el curso. El plan de estudios podía interpretarse con flexibilidad y variarse para adaptarse a determinado diseño de curso; los temas indican de una manera general la amplitud y la profundidad de estudio que es dable esperar. En algunos casos (por ejemplo, el de la

tecnología de naves espaciales), el planificador del curso tal vez desee incluir sólo algunos elementos de un curso, pero el plan de estudios podría proporcionar una guía útil acerca de lo que debería incluirse. No obstante, las normas generales deben mantenerse plenamente a nivel de posgrado.

A continuación se enumeran los ocho temas. La instrumentación se describe por lo general como parte del tema correspondiente.

1. Matemáticas para ingenieros y científicos espaciales

Como introducción al tema de las matemáticas para ingenieros y científicos espaciales, se podría impartir un curso de actualización que abarcara los siguientes temas: álgebra, geometría, trigonometría, álgebra lineal, cálculo, ecuaciones diferenciales comunes, probabilidad y estadística (distribuciones de Poisson y Gaussian), introducción al análisis numérico, programación simple de computadoras, conocimientos básicos de análisis de vectores. Podría resultar conveniente recurrir ampliamente a ejemplos extraídos de ámbitos de la física espacial como el movimiento en un campo gravitacional, las órbitas satelitales y otros. Tras el curso de actualización, podrían dictarse los siguientes cursos:

Estadística y análisis de datos: análisis de errores, análisis de series cronológicas, tendencias, análisis de Fourier, efectos del ruido en los datos, técnicas de ajuste, mínimos cuadrados, máxima verosimilitud, métodos de filtrado numérico, ensayos estadísticos de significación

Métodos de análisis numérico: interpolación y extrapolación, métodos de diferencias finitas, integración

Modelado: solución numérica de ecuaciones diferenciales parciales, elaboración de un modelo numérico simple, utilización práctica de un modelo numérico

La amplitud de esta lista se ha limitado deliberadamente, en parte para que los centros regionales puedan, con arreglo a sus respectivos criterios, realizar las adiciones que resulten convenientes para los demás temas de ciencia espacial que ofrezcan y en parte con la esperanza de que se exija a los estudiantes que ejecuten proyectos cortos a fin de que puedan adquirir sólidos conocimientos matemáticos.

2. Estructura, composición, dinámica y evolución de las atmósferas planetarias

Atmósferas (incluida la atmósfera de la Tierra)

Balance energético del planeta Tierra

Estructura, composición y dinámica de la atmósfera de la Tierra

Radiación solar y efectos de la variabilidad en la atmósfera de la Tierra

Comparación con atmósferas de otros planetas

Evolución de la atmósfera a largo y corto plazo

Climatología regional

3. Física de la ionosfera

Estructura y variabilidad de la ionosfera de la Tierra

Técnicas ionosféricas, especialmente técnicas espaciales

Dinámica del plasma ionosférico

Emisiones ópticas desde la ionosfera

- Ionosferas de los planetas y sus satélites
- Interacciones entre la ionosfera y la atmósfera
- La radiocomunicación a través de la ionosfera
- 4. Viento solar, magnetosfera y meteorología espacial
  - La actividad solar y sus efectos
  - Campos magnéticos de la Tierra y otros planetas
  - Magnetosferas de la Tierra y otros planetas
  - Medio interplanetario y meteorología espacial
- 5. Astronomía y astrofísica
  - Introducción a la astronomía
  - Estructura y evolución de las estrellas y las galaxias
  - Observaciones astronómicas en todas las longitudes de onda
  - Rayos cósmicos
  - Cosmología básica
- 6. Fundamentos del diseño, la construcción y el lanzamiento de naves espaciales
  - Dinámica orbital y vehículos de lanzamiento
  - Medición y control de actitud
  - Generación y almacenamiento de energía
  - Telemetría y telemando, gestión de datos
  - Diseño y ensayo mecánicos
  - Diseño y control térmicos
  - Consideraciones relativas al diseño de la carga útil
  - Materiales para utilización en sistemas espaciales
- 7. Biología espacial
  - Introducción a la biología espacial
  - Respuesta fisiológica general al vuelo espacial
  - Radiación y radiobiología
  - Riesgos médicos de las actividades espaciales
  - La vida en el espacio
- 8. Geodesia espacial
  - Sistemas de coordenadas: basados en tierra, globales y regionales
  - Establecimiento de sistemas de coordenadas a partir de observaciones espaciales
  - Sistema mundial de determinación de la posición (GPS): teoría y aplicación
  - Sistema de información geográfica (SIG): teoría y aplicación
  - Aplicaciones científicas de la geodesia espacial: deriva continental, separación de la Tierra y la Luna, etc.

## Examen de las recomendaciones del Comité de examen del plan de formación

El Comité de examen del plan de formación, órgano especial establecido por el Centro de Formación en Ciencia y Tecnología Espaciales para Asia y el Pacífico con el objeto de preparar la reunión de septiembre de 2001, sugirió un plan de estudios revisado para el tercer curso. Ese plan de estudios, que fue examinado por el grupo de trabajo, era el siguiente:

*Módulo/  
submódulo Tema*

- 1 Temas teóricos
  - 1.1 Estructura, composición y dinámica de las atmósferas planetarias
    - 1.1.1 Estructura de la atmósfera de la Tierra
    - 1.1.2 Composición de la atmósfera de la Tierra
    - 1.1.3 Dinámica de la atmósfera de la Tierra
    - 1.1.4 La radiación solar y su efecto en la atmósfera
    - 1.1.5 Atmósferas de planetas y satélites
  - 1.2 Física de la ionosfera
    - 1.2.1 Estructura y variabilidad de la ionosfera de la Tierra
    - 1.2.2 Técnicas ionosféricas: basadas en Tierra, cohetes y satélites
    - 1.2.3 Dinámica del plasma ionosférico
    - 1.2.4 Emisiones ópticas
    - 1.2.5 Ionosferas de otros planetas y satélites
- 2 Experimentos
  - 2.1 Vigilancia del ozono en la superficie
  - 2.2 Radiosondeo de la ionosfera (ionosonda)
  - 2.3 Sonda Langmuir para mediciones de la densidad electrónica
  - 2.4 Imágenes ópticas de agotamientos del plasma
  - 2.5 Experimentos de modelado en atmósfera neutra
- 3
  - 3.1 Viento solar, magnetosfera y meteorología espacial
    - 3.1.1 Elementos de física solar
    - 3.1.2 Campo magnético de la Tierra y otros planetas
    - 3.1.3 Magnetosfera de la Tierra y otros planetas
    - 3.1.4 Medio interplanetario
    - 3.1.5 Meteorología espacial
  - 3.2 Astronomía y astrofísica
    - 3.2.1 Introducción a la astronomía
    - 3.2.2 Instrumentos y técnicas de observación astronómica
    - 3.2.3 Estudios ópticos y de infrarrojo cercano de estrellas y galaxias
    - 3.2.4 Astrofísica de alta energía
    - 3.2.5 Estudios de radioastronomía

- 4
- 4.1 Fotometría de estrellas binarias
- 4.2 Estudio interferométrico de nebulosas planetarias
- 4.3 Estudios de radiopúlsares utilizando el radiotelescopio gigante de longitudes de ondas métricas (GMRT)/radiotelescopio sintético de Ooty (OSRT)
- 4.4 Medición de la temperatura de los planetas exteriores utilizando detectores infrarrojos
- 4.5 Estudio del espectro solar

El procedimiento de evaluación sugerido para el tercer curso sería el siguiente:

	<i>Puntos</i>
Trabajos teóricos (4 trabajos x 300 puntos)	1.200
Ejercicios prácticos	
Participación en ejercicios prácticos (diez ejercicios práctico x 45 puntos)	450
Exámenes relativos a ejercicios prácticos (dos exámenes x 75 puntos)	150
Seminarios (cuatro seminarios x 75 puntos)	300
Proyecto piloto	<u>300</u>
Total	2.400

Tras las deliberaciones del grupo de trabajo en las que se sugirió la introducción de un quinto tema sobre diseño, construcción y lanzamiento de naves espaciales (véase el párrafo 16 *infra*), el procedimiento de evaluación se revisó como se indica en el párrafo 3 del anexo I.

## **Plan de estudios revisado para el tercer curso sobre ciencia espacial y atmosférica**

### **Recomendaciones relativas a la estructura del tercer curso**

El tercer curso se compondrá de los cinco módulos siguientes:

- 1 Teoría
- 2 Experimentos
- 3 Teoría
- 4 Experimentos
- 5 Proyectos piloto

En el anexo I se presenta un programa más detallado, particularmente en lo que respecta a los modelos teóricos.

### **Cambios sugeridos al programa del segundo curso.**

La duración efectiva de la enseñanza impartida en clases magistrales y con realización de experimentos fue de 300 horas en cada caso en el segundo curso (véase el anexo II). A continuación se examinan los principales cambios recomendados en la asignación de horas.

### Cambios en los temas teóricos

En el segundo curso se dedicaron 50 horas a la enseñanza de la astronomía y la astrofísica. En el plan de estudios revisado, esa cantidad de horas se aumentó a 60, y también se dedicarían 33 horas adicionales a la física planetaria, con arreglo a la siguiente distribución:

	<i>Horas</i>
Atmósferas de planetas y satélites	12
Ionosferas de otros planetas y satélites	8
Campo magnético de la Tierra y otros planetas	6
Magnetosfera de la Tierra y otros planetas	<u>7</u>
Total	33

Por consiguiente, se agregarían 43 horas adicionales al tema de astronomía y astrofísica y física planetaria en el programa sugerido.

En el segundo curso se dedicaron 50 horas a estudios ópticos y de laboratorio de procesos espaciales. En el programa revisado para el tercer curso, esa cantidad debería reducirse a 8 horas, que se incluirían en el marco del tema propagación ionosférica y técnicas de medición.

En el segundo curso se dedicaron 50 horas a modelado del clima, atmósfera neutra, efectos radioactivos de los aerosoles, ionosfera y simulación numérica de burbujas de plasma. En el programa revisado para el tercer curso, esa cantidad debería reducirse a alrededor de 15 horas asignadas a un experimento de modelado de la atmósfera/ionosfera en el módulo 4.

Además, se sugiere que se dediquen 59 horas al nuevo tema de fundamentos de diseño y lanzamiento de naves espaciales.

Por lo tanto, el esbozo general de los modelos teóricos es el siguiente:

*Módulo/  
submódulo Tema*

- 1
- 1.1 Estructura, composición y dinámica de las atmósferas planetarias
  - 1.1.1 Conceptos básicos sobre la atmósfera terrestre
  - 1.1.2 Dinámica de la atmósfera terrestre
  - 1.1.3 La radiación solar y su efecto en la atmósfera
  - 1.1.4 Atmósferas de planetas y satélites
- 1.2 Física de la ionosfera
  - 1.2.1 Estructura y variabilidad de la ionosfera de la Tierra
  - 1.2.2 Propagación ionosférica y técnicas de medición
  - 1.2.3 Dinámica del plasma ionosférico
  - 1.2.4 Emisiones de luminiscencia atmosférica
  - 1.2.5 Ionosferas de otros planetas y satélites

Módulo/  
submódulo Tema

3

- 3.1 Viento solar, magnetosfera y meteorología espacial.
  - 3.1.1 Elementos de física solar
  - 3.1.2 Campo magnético de la Tierra y otros planetas
  - 3.1.3 Magnetosfera de la Tierra y otros planetas
  - 3.1.4 Meteorología espacial
  - 3.1.5 Técnicas de medición de parámetros solares y geomagnéticos
- 3.2 Astronomía y astrofísica
  - 3.2.1 Introducción a la astronomía y la astrofísica
  - 3.2.2 Instrumentos y técnicas de observación astronómica
  - 3.2.3 Estudios ópticos y de infrarrojo cercano de estrellas y galaxias
  - 3.2.4 Astrofísica de alta energía
  - 3.2.5 Radioastronomía
- 3.3 Fundamentos del diseño, la construcción y el lanzamiento de naves espaciales
  - 3.3.1 Dinámica, control y guía orbitales
  - 3.3.2 Generación y almacenamiento de energía
  - 3.3.3 Telemetría y telemando
  - 3.3.4 Aspectos de diseño mecánico, térmico y de carga útil
  - 3.3.5 Materiales del sistema espacial

### **Cambios en los experimentos**

En el segundo curso se realizaron 12 experimentos en total (véase el anexo II). De ello, deberán discontinuarse los siguientes:

- Función de las rendijas de un monocromador
- Espectroscopía de absorción para determinar la densidad de columna
- Medición del campo magnético de la Tierra con magnetómetro de presesión de protones
- Interferometría de la luminiscencia ionosférica
- Medición de la fluorescencia del colorante de rodamina

Se sugiere llevar a cabo los siguientes experimentos nuevos:

- Fotometría de estrellas binarias
- Estudio interferométrico de nebulosas planetarias
- Experimento de modelado de la atmósfera/ionosfera
- Estudios de radiopúlsares utilizando el radiotelescopio gigante de longitudes de ondas métricas (GMRT)/radiotelescopio sintético de Ooty (OSRT)
- Estudio del espectro solar

### Programa de actividades de los cursos

El curso de nueve meses consistirá en 200 días de seis horas que totalizarán 1.200 horas. Dichas horas se distribuirán de la siguiente manera:

<i>Actividad y programa</i>	<i>Horas</i>	<i>Porcentaje del tiempo total</i>
Clases magistrales teóricas: cinco temas, 60 horas por tema; tres clases magistrales por día, de 9.00 a 10.00 horas, de 10.40 a 11.50, y de 11.50 a 13.00 horas	300	25
Ejercicios prácticos: 12 ejercicios prácticos; lunes, martes y miércoles, de 14.30 a 17.30 horas	180	15
Trabajo en biblioteca: todos los viernes de 14.30 a 17.30 horas	60	5
Clases dirigidas y seminarios: todos los jueves de 14.30 a 15.30 horas	60	5
Visitas sobre el terreno: cinco semanas de seis días (en dos sesiones); seis horas por día	180	15
Exámenes (incluido el tiempo de preparación)	120	10
Trabajo de proyecto (10 semanas de cinco días; seis horas por día)	<u>300</u>	<u>25</u>
Total	1.200	100

### Notas

- <sup>1</sup> L. Pyenson y S. Sheets-Pyenson, *Servants of Nature: a History of Scientific Institution, Enterprises and Sensibilities* (Nueva York, W.W. Norton and Company, 1999).
- <sup>2</sup> *Informe de la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, Viena, 9 a 30 de julio de 1999* (publicación de las Naciones Unidas, N° de venta S.00.I.3), cap. II, secc. G, párr. 220.
- <sup>3</sup> *Ibid.*, cap. I, resolución 1, apartado e) ii) del párr. 1. La Declaración puede consultarse también en la página de presentación de la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre (<http://www.oosa.unvienna.org>).

## Anexo I

### Especificaciones relativas al plan de estudios del tercer curso

A continuación se ofrecen detalles sobre los temas teóricos:

<i>Módulo/ submódulo</i>	<i>Tema y horas</i>
1	
1.1	Estructura, composición y dinámica de las atmósferas planetarias (60 horas)
1.1.1	Conceptos básicos sobre la atmósfera terrestre (12 horas) Nomenclatura atmosférica, ecuaciones hidrostáticas, altura de la atmósfera homogénea, altura geopotencial; conceptos químicos relativos a la atmósfera; consideraciones termodinámicas, cinética química elemental; composición y química de la atmósfera media y la termosfera; equilibrio térmico en la termosfera; modelización de la atmósfera neutra
1.1.2	Dinámica de la atmósfera terrestre (16 horas) Ecuación del movimiento de la atmósfera neutra; ecuación del viento térmico; elementos de las ondas planetarias; ondas de gravedad internas y mareas atmosféricas; descripción fundamental de la dinámica atmosférica y efectos de la dinámica sobre las especies químicas; técnica de medición de distancias por láser (Lidar)
1.1.3	La radiación solar y su efecto en la atmósfera (20 horas) Radiación solar en la alta atmósfera, atenuación de la radiación solar en la atmósfera, transferencia radiativa, efectos térmicos de la radiación, efectos fotoquímicos de la radiación, modelización de los efectos radiativos de los aerosoles
1.1.4	Atmósferas de planetas y satélites (12 horas) Planetas inferiores y superiores; estructura atmosférica y composición de la Luna, Júpiter, Marte, Venus y Saturno y de sus principales satélites
1.2	Física de la ionosfera (60 horas)
1.2.1	Estructura y variabilidad de la ionosfera de la Tierra (12 horas) Introducción a la ionosfera; procesos fotoquímicos; teoría de Chapman de la fotoionización; producción de capas ionosféricas; reacciones de pérdida y química de las regiones ionosféricas; morfología de la ionosfera
1.2.2	Propagación ionosférica y técnicas de medición (16 horas) Efectos de la ionosfera sobre la propagación de las ondas radioeléctricas; refracción, dispersión y polarización; teoría magnetoiónica; frecuencia crítica y altura virtual; propagación oblicua y frecuencia máxima utilizable; técnicas basadas en Tierra—ionosonda; radares; centelleo y contenido total de electrones (TEC), fotómetros, imaginizadores e interferómetros, absorción ionosférica; técnicas a bordo de cohetes y satélites—sonda de Langmuir, sonda del campo eléctrico, analizadores de potencial retardador, espectrómetros de masa, magnetómetros, emisión de vapores, resistencia aerodinámica de los satélites para densidad neutral
1.2.3	Dinámica del plasma ionosférico (16 horas) Ecuaciones básicas de fluidos; movimientos del plasma ionosférico en estado estable debidos a fuerzas aplicadas; generación de campos eléctricos; cartografía de campos eléctricos; frecuencias de colisión; conductividad eléctrica; difusión del plasma; dinamo ionosférico; electrochorro ecuatorial; modelización ionosférico
1.2.4	Luminiscencia atmosférica (8 horas) Luminiscencia nocturna; luminiscencia diurna; luminiscencia crepuscular; aurora; aplicaciones de las mediciones de la luminiscencia atmosférica a la dinámica y composición de la ionosfera
1.2.5	Ionosferas de otros planetas y satélites (8 horas) Ionosferas de Marte, Venus y Júpiter
3	
3.1	Viento solar, magnetosfera y meteorología espacial (60 horas)

<i>Módulo/ submódulo</i>	<i>Tema y horas</i>
3.1.1	Elementos de física solar (6 horas) Estructura y composición del Sol; el Sol como fuente de radiación; manchas solares y ciclos solares; erupciones solares
3.1.2	Campo magnético de la Tierra y otros planetas (12 horas) Modelos de generación de campos geomagnéticos; variaciones seculares de los campos geomagnéticos; campos geomagnéticos de referencia internacionales; elementos locales de los campos geomagnéticos; determinación de las coordenadas geomagnéticas de las estaciones; variación diurna de los campos geomagnéticos; campos magnéticos de otros planetas
3.1.3	Magnetosfera de la Tierra y otros planetas (14 horas) El viento solar y sus características; campo magnético interplanetario y estructura por sectores; formación de la cavidad geomagnética, magnetopausa; envoltura de la magnetosfera y onda de choque; cono polar y cola de la magnetosfera; cinturones de radiación de la esfera de plasma y de Van Allen; magnetosfera de otros planetas
3.1.4	Meteorología espacial (16 horas) Tormentas geomagnéticas, subtormentas y sistemas de corrientes; eyecciones de masa coronal; la modificación de la magnetosfera de la Tierra durante perturbaciones magnéticas y sus consecuencias; efecto de las perturbaciones magnéticas en las latitudes alta, media y baja
3.1.5	Técnicas de medición de parámetros solares y geomagnéticos (12 horas) Técnicas ópticas para obtener parámetros solares; técnicas radioeléctricas para obtener parámetros solares; técnicas de rayos X para obtener parámetros solares; técnicas para mediciones magnéticas
3.2	Astronomía y astrofísica (60 horas)
3.2.1	Introducción a la astronomía y la astrofísica (18 horas) Parámetros básicos de las observaciones astronómicas (escala de magnitud, sistemas de coordenadas), clasificación estelar, diagrama de Hertzsprung-Russell, ecuación de Saha, criterios de Jean para la formación estelar, evolución estelar, clasificación de galaxias, cosmología
3.2.2	Instrumentos y técnicas de observación astronómica (12 horas) Telescopios: $f/\#$ (un telescopio de razón focal $f/\#$ tiene una abertura igual a un $\#$ avo de su distancia focal), factor de aumento, tipos de telescopios, condiciones de visión, resolución limitada por difracción; fotómetros: espectrómetros (interferómetros, rejillas), detectores de formación de imágenes (matrices de placa de microcanal (MPC), de dispositivo de transferencia de carga (CCD) y de infrarrojos), técnicas de gran resolución angular (patrón moteado, ocultación lunar, óptica adaptativa)
3.2.3	Estudios ópticos y de infrarrojo cercano de estrellas y galaxias (12 horas) Distribución de la energía espectral (en bandas ópticas y del infrarrojo) en las estrellas, rotación de las estrellas, estudio de estrellas binarias, nebulosas gaseosas, curva de extinción de la materia interestelar, polvo, curvas de rotación de las galaxias, distribución de la energía espectral, estudios color-color (formación de imágenes de galaxias en bandas diferentes)
3.2.4	Astronomía de alta energía (6 horas) Transmisión atmosférica, técnicas de detección de rayos X y rayos gamma, telescopios de rayos X, formación de imágenes y espectroscopia, procesos de radiación, discos de acreción en agujeros negros y sistemas binarios de rayos X, núcleos galácticos activos
3.2.5	Radioastronomía (12 horas) Radiotelescopios, síntesis de abertura, técnicas de centelleo interplanetario (IPS), interferometría de muy larga base (VLBI), púlsares, radiogalaxias, distribución de gas hidrógeno neutro (HI) en las galaxias, mecanismos de radiación
3.3	Diseño, construcción y lanzamiento de naves espaciales (los detalles se concretarán en su momento)

Los módulos prácticos revisados son los siguientes:

<i>Módulo/ submódulo</i>	<i>Tema</i>
	2
2.1	Funcionamiento de la sonda Langmuir
2.2	Sondeo de la ionosfera con una ionosonda
2.3	Vigilancia del ozono en la superficie
2.4	Imágenes ópticas de agotamientos del plasma
	4
4.1	Fotometría de estrellas binarias
4.2	Estudio interferométrico de nebulosas planetarias o medición de la temperatura de los planetas superiores utilizando detectores infrarrojos
4.3	Detección de la masa de partículas en suspensión mediante microbalanzas de cristal de cuarzo
4.4	Medición de la profundidad óptica con fotómetros de filtro
4.5	Experimento de modalización de la atmósfera/ionosfera
4.6	Caracterización de los filtros de interferencia
4.7	Estudios de radiopúlsares utilizando el radiotelescopio gigante de longitudes de ondas métricas (GMRT)/radiotelescopio sintético de Ooty (OSRT)
4.8	Estudio del espectro solar

La evaluación de los estudiantes se basará en su rendimiento en las clases teóricas, en los ejercicios prácticos, en los seminarios y proyectos piloto. Los estudiantes tendrán que presentar en los seminarios una ponencia sobre cada uno de los cinco temas teóricos. La asignación de puntos en las clases teóricas, así como en los ejercicios prácticos, seminarios y proyectos piloto, será la siguiente:

	<i>Puntos</i>
Clases teóricas (5 temas, 100 puntos cada uno), a saber:	
Examen escrito (3 horas), 80 puntos por tema	400
Pruebas en clase organizadas por cada profesor, 20 puntos por tema	100
Total parcial	500
Experimentos:	
Exámenes (incluidos los exámenes orales)	80
Evaluación continua, dedicación y disciplina	<u>120</u>
Total parcial	300
Seminarios (5 ponencias, 20 puntos cada una)	100
Proyecto piloto	<u>200</u>
Total	1.000

Las notas serán las siguientes:

A+ o sobresaliente	750 puntos o más	(75% o más)
A o notable	de 600 a 749 puntos	(del 60% a menos del 75%)
B o aprobado	de 500 a 599 puntos	(del 50% a menos del 60%)

## Anexo II

### Plan de estudios revisado para el segundo curso

El segundo curso de posgrado sobre ciencia espacial y atmosférica se celebró en el Centro de Formación en Ciencia y Tecnología Espaciales para Asia y el Pacífico del 1º de agosto de 2000 al 30 de abril de 2001. El primer curso había constado de dos fases: la primera (seis meses) se había realizado en el Centro y la segunda (seis meses) en los países de origen de los participantes. Para el segundo curso, la duración de la primera fase aumentó a nueve meses en el Centro y la de la segunda a 12 meses en los países de origen. Después de concluir con éxito ambas fases, todos los participantes con derecho a ello fueron evaluados por una universidad del país anfitrión del Centro para otorgarles una maestría en tecnología de las ciencias espaciales. Los cambios en el plan de estudios con respecto al primer curso se describen a continuación.

### Cambios en el plan de estudios con respecto al número de horas, después del primer curso

En el cuadro 1 se muestran las diferencias entre los cuatro primeros módulos del primer y segundo cursos, y para ello se utilizan los títulos de los módulos y submódulos del primer curso.

Cuadro 1  
Comparación entre los módulos/submódulos del primer y segundo cursos

Módulo/ submódulo	Tema	Número de horas	
		Primer curso	Segundo curso
1 <sup>a</sup>			
1.1	Estructura y composición de la atmósfera neutra	40	50
1.2	Aspectos del plasma del medio ambiente de la Tierra	40	50
1.3	Astronomía y astrofísica	40	50
	<b>Total parcial</b>	<b>120</b>	<b>150</b>
2 <sup>b</sup>			
2.1	Medición de la masa de partículas en suspensión	20	25
2.2	Medición del campo magnético de la Tierra con un magnetómetro de presesión de protones	20	25
2.3	Espectrometría de absorción para determinar la densidad de columna de los constituyentes menores de la atmósfera	20	25
2.4	Medición de la concentración de metano en diversas muestras de aire	20	25
2.5	Medición de corrientes bajas con la sonda de Langmuir	20	25
	Horas adicionales en el segundo curso	—	25
	<b>Total parcial</b>	<b>100</b>	<b>150</b>
3 <sup>a</sup>			
3.1	Física ionosférica y propagación de las ondas radioeléctricas	40	50
3.2	Estudios ópticos y de laboratorio de los procesos espaciales	40	50
3.3	Modelización de procesos atmosféricos	40	50
	<b>Total parcial</b>	<b>120</b>	<b>150</b>

Módulo/ submódulo	Tema	Número de horas	
		Primer curso	Segundo curso
4 <sup>b</sup>			
4.1	Caracterización de filtros de interferencia	20	25
4.2	Interferometría mediante el interferómetro de Fabry Perot	20	25
4.3	Formación de imágenes ópticas/fotometría con filtros	20	25
4.4	Utilización de tintes en láseres de colorante	20	25
4.5	Sondeo de la ionosfera con una ionosonda	20	25
	Horas adicionales en el segundo curso		<u>50</u>
	<b>Total parcial</b>	<b>100</b>	<b>175</b>
	<b>Total</b>	<b>440</b>	<b>625</b>

<sup>a</sup>El número de horas en el primer curso fue insuficiente porque hubo muy poco tiempo para a) celebrar debates durante las clases magistrales y b) explicar los errores cometidos por los estudiantes en los exámenes escritos.

<sup>b</sup>El número de horas en el primer curso fue insuficiente porque el tiempo disponible no bastó para leer sobre los experimentos, prepararlos, demostrarlos, formular observaciones, repetir los experimentos, comprobarlos y escribir acerca de ellos.

En el primer curso, no se prestó atención a proyectos piloto debido a lo siguiente: a) falta de tiempo y b) falta de conocimientos sobre los posibles experimentos en los países de origen de los participantes. Por ello, hubo los siguientes problemas:

- a) La conclusión del proyecto piloto se retrasó;
- b) Los datos se pusieron a disposición de los participantes con retraso;
- c) La participación del supervisor nombrado por el Centro y la interacción con él fueron demasiado reducidas para ser significativas;
- d) Ocasionalmente, se reemplazó a los supervisores en los países de origen de los participantes.

Por las razones señaladas, en el segundo curso se dedicaron dos meses exclusivamente al proyecto piloto.

### Programa del segundo curso

En el cuadro 2 figura el programa del segundo curso y se suministran detalles sobre los temas teóricos abarcados en los módulos 1 y 3.

**Cuadro 2**  
**Programa del segundo curso**

<i>Módulo/ submódulo</i>	<i>Tema</i>	<i>Número de horas</i>
1		
1.1	Estructura, composición y dinámica de la atmósfera neutra	50
1.1.1	Estructura, composición, equilibrio hidrostático, termodinámica de la altura de la atmósfera homogénea	
1.1.2	Radiación solar, su transferencia a través de la atmósfera, aerosoles y efectos radiativos de los aerosoles	
1.1.3	Dinámica atmosférica, movimientos a gran escala, ondas de gravedad de las mareas y turbulencia	
1.1.4	Gases de efecto invernadero y gases en trazas: su química y sus técnicas de medición y el calentamiento de la Tierra	
1.1.5	Medición por satélite de parámetros neutrales	
1.2	Aspectos del plasma del medio ambiente de la Tierra	50
1.2.1	Geomagnetismo, circuito eléctrico mundial	
1.2.2	Física del plasma	
1.2.3	Procesos magnetosféricos y viento solar, actividad solar	
1.2.4	Mediciones <i>in-situ</i> de los parámetros del plasma	
1.2.5	Irregularidades ionosféricas	
1.3	Astronomía y astrofísica	50
1.3.1	Astronomía básica (planetaria, estelar y extragaláctica)	
1.3.2	Astronomía de rayos gamma, de rayos X y ultravioleta	
1.3.3	Astronomía óptica, del infrarrojo y del infrarrojo lejano	
1.3.4	Astronomía de onda milimétrica, radioastronomía y astronomía solar	
1.3.5	Adelantos recientes en las técnicas de detección astronómica	
2		
2.1	Medición de la masa de partículas en suspensión	25
2.2	Vigilancia en la superficie de constituyentes menores	25
2.3	Determinación de la función de rendija de un monocromador utilizando un láser de helio-neón (He-Ne) como fuente de luz	25
2.4	Sondeo de la ionosfera con una ionosonda	25
2.5	Medición de corrientes bajas con la sonda de Langmuir	25
2.6	Imágenes ópticas de agotamientos del plasma	25
3		
3.1	Física ionosférica y propagación de las ondas radioeléctricas	
3.1.1	Formación y estructura de la ionosfera	
3.1.2	Teoría de la propagación radioeléctrica ionosférica	
3.1.3	Radiosondeo de la ionosfera (ionosonda, Doppler de alta frecuencia, radar de viento meteórico, técnica de receptores espaciados, contenido total de electrones)	
3.1.4	Centelleos ionosféricos, tomografía y sistema mundial de determinación de la posición (GPS)	
3.1.5	Radares ionosféricos (radar de dispersión retrógrada de muy alta frecuencia, radar de dispersión incoherente y radar de mesosfera/estratosfera/troposfera (MST))	
3.2	Estudios ópticos y de laboratorio de los procesos espaciales	
3.2.1	Óptica básica	

<i>Módulo/ submódulo</i>	<i>Tema</i>	<i>Número de horas</i>
3.2.2	Fotómetros e imágenes	
3.2.3	Formación de imágenes espectrales de la atmósfera	
3.2.4	Sondeo de la atmósfera por láser	
3.2.5	Astrofísica de laboratorio	
3.3	Modelización de procesos atmosféricos	
3.3.1	Modelización climática	
3.3.2	Modelización de la atmósfera neutra	
3.3.3	Modelización de los efectos radiativos de los aerosoles	
3.3.4	Modelización de la ionosfera	
3.3.5	Simulación numérica de las burbujas de plasma	
4		
4.1	Espectrometría de absorción para determinar la densidad de columna de los constituyentes menores de la atmósfera	25
4.2	Fotometría con filtros para medir la profundidad óptica	25
4.3	Medición del campo magnético de la Tierra con un magnetómetro de presión de protones	25
4.4	Interferometría mediante el interferómetro de Fabry-Perot	25
4.5	Medición de la transmisión de la ventana de MgF <sub>2</sub>	25
4.6	Caracterización de los filtros de interferencia	25
5	Proyecto piloto	<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Dos meses.

El módulo 5, un proyecto piloto de dos meses de duración, se ejecutó una vez terminados los cuatro módulos. Dado que muchos participantes no tenían una idea clara de qué proyecto de un año de duración era viable en su país de origen, con el proyecto piloto en el Centro se sentaron las bases de ese proyecto. El proyecto piloto se ejecutó en consulta con supervisores del país anfitrión del Centro y del país de origen. El objetivo del módulo de dos meses fue permitir que los participantes trabajaran bajo la dirección de un supervisor del país anfitrión del Centro y obtuvieran a) orientación sobre el curso de acción que debían seguir en su país de origen; b) todos los datos experimentales necesarios; y c) los programas informáticos requeridos y demás material similar.

## **Procedimiento de evaluación del segundo curso**

### **Módulos 1 y 3 (teoría)**

La enseñanza sobre cada subsección de los módulos estuvo a cargo del personal docente. Al final de sus clases magistrales, cada uno de los miembros del personal docente tomó en clase una prueba de una hora. Se calculó para cada subsección la media de todas las pruebas tomadas en clase. Para cada una de las subsecciones, cada participante debió presentar una ponencia en un seminario, que evaluó un comité de miembros del personal docente. Por último, se tomó un examen escrito de tres horas sobre cada una de las subsecciones. La asignación de puntos fue la siguiente:

	<i>Puntos</i>
Examen escrito de tres horas de duración	125
Prueba en clase de una hora de duración (media de cinco pruebas)	50
Seminario	<u>25</u>
Total	200

El total de los módulos 1 y 3, que constaban de seis temas, cada uno con 200 puntos, fue de 1.200 puntos.

### **Módulos 2 y 4 (práctica)**

Se otorgaron puntos por completar los ejercicios prácticos relativos a los 12 temas de los módulos 2 y 4 y en cada módulo se eligió un ejercicio práctico para el examen práctico y la evaluación. La asignación de puntos fue la siguiente:

	<i>Puntos</i>
Puntos por completar los 12 ejercicios prácticos de los módulos 2 y 4 (40 puntos cada uno)	480
Examen práctico sobre sendos ejercicios prácticos de los módulos 2 y 4 (60 puntos cada uno)	<u>120</u>
Total	600

Se pudieron obtener en total 2.400 puntos durante el curso y las notas se basaron en el porcentaje de puntos recibidos, a saber:

A+ o sobresaliente	(75% o más)
A o notable	(del 60% a menos del 75%)
B o aprobado	(del 50% a menos del 60%)

### **Proyecto de un año de duración**

Se espera que todos los participantes, después de concluir la primera etapa de su formación en el Centro, ejecuten un proyecto de un año de duración en su país de origen bajo la dirección de un supervisor en ese país y manteniéndose constantemente en contacto con un supervisor en el país anfitrión del Centro. Se espera que cada participante, después de completar esa labor de un año de duración, escriba una tesis, que será aprobada y firmada por ambos supervisores, además del candidato. La tesis se enviará, para su evaluación, a un supervisor nombrado por el Centro. Una vez obtenida la aprobación del supervisor, la tesis se enviará a la universidad del país de origen para que ésta estudie la posibilidad de conceder una maestría en tecnología de las ciencias espaciales al candidato, si tiene derecho a ello.

## Anexo III

### Plan de estudios del primer curso

El primer curso de posgrado sobre ciencia espacial y atmosférica se celebró en el Centro de Formación en Ciencia y Tecnología Espaciales para Asia y el Pacífico del 1º de junio al 30 de noviembre de 1998.

#### Cuadro Programa del primer curso

<i>Fase y módulo</i>	<i>Título (duración)</i>	<i>Número de clases magistrales</i>
I	Primer semestre (tres meses)	
I.1	Ciencias atmosféricas	60
I.2	Ionosfera e interacción solar-terrestre	60
	Trabajo en el proyecto y trabajo de laboratorio	
	Visita a un observatorio astronómico (dos semanas)	
	Exámenes	
	Segundo semestre (tres meses)	
I.3	Instrumentos, técnicas y procesamiento de datos	75
I.4	Modelización	50
II	Trabajo en el proyecto en los países de origen de los participantes (seis meses)	

El contenido detallado de la parte teórica del curso fue el siguiente:

#### Módulo 1: Atmósfera

Estructura y composición, equilibrio hidrostático, altura de la atmósfera homogénea, termodinámica, la radiación solar y su transferencia a través de la atmósfera, aerosoles y radiación

Electricidad atmosférica, circuito eléctrico mundial

Dinámica atmosférica, movimientos a gran escala, ondas de gravedad de las mareas y turbulencia

Ozono, gases en trazas: su química y sus técnicas de medición, agotamiento del ozono; concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros gases de efecto invernadero, el calentamiento de la Tierra, cambios a largo plazo en la atmósfera debido a cambios antropogénicos

#### Módulo 2: Ionosfera e interacción solar-terrestre

Física básica del plasma

El Sol, la radiación solar, la actividad solar, el viento solar, el geomagnetismo, la magnetosfera

Fotoabsorción y fotoionización, formación de capas ionosféricas, teoría magnetoiónica, radiopropagación en la ionosfera, radiosondeo, cálculos de radioenlaces de frecuencia máxima utilizable (MUF) y alta frecuencia (HF),

características de la ionosfera en latitudes bajas, electrochorro ecuatorial, capa E esporádica ecuatorial y capa F difusa ecuatorial

Erupciones solares, tormentas geomagnéticas y sus efectos en la ionosfera, acoplamiento de la magnetosfera y la ionosfera

Radiopropagación a través de la ionosfera, rotación de Faraday, mediciones de fase diferencial y de retardo de grupo, tomografía ionosférica, centelleos de radioondas

Procesos de dispersión de radioondas, radares de dispersión retrógrada coherente e incoherente

Teoría de las sondas, características de las sondas, mediciones *in situ*, Emisiones de luminiscencia atmosférica, principios de medición óptica, aeronomía óptica

Astronomía de alta energía, astronomía con rayos X, fuentes de rayos X, técnicas de detección; astronomía con rayos gamma, fuentes, telescopios y detectores en el espacio, telescopios Cerenkov en tierra y astronomía con rayos gamma de muy alta energía; tendencias de la ingeniería y adelantos recientes de las técnicas de detección

Biología del espacio

### Módulo 3: Instrumentos, técnicas y procesamiento de datos

Radiosondeo: ionosondas, técnica de Doppler de alta frecuencia, técnica con receptores espaciados

Métodos de radiobaliza para obtener el contenido de electrones, tomografía y estudios del centelleo

Radares de estudios atmosféricos y ionosféricos, radar de dispersión retrógrada coherente, radar de dispersión retrógrada incoherente, radar para meteoros y radar de mesosfera/estratosfera/troposfera (MST)

Sondas *in situ* y experimentos de modificación artificial, sonda de Langmuir, sonda doble, analizador del potencial de retardo (RPA), magnetómetro, espectrómetro de masa y experimentos de emisión de sustancias químicas; conductividad en globos aerostáticos, densidad de iones y sondas del campo eléctrico para la estratosfera

Experimentos de aeronomía óptica, fotómetros, espectrómetros, cámara de formación de imágenes para emisiones de luminiscencia atmosférica diurna y nocturna

Técnicas lidar, principio y aplicación, lidar de aerosoles, lidar con método de Rayleigh, lidar con técnica de Doppler y lidar de absorción diferencial (DIAL)

Instrumentos para estudios de la química atmosférica y de aerosoles, espectroscopia de absorción de Dobson, muestreador criogénico, cromatografía de gases, fotómetro solar, muestreador de aerosoles, técnicas de teleobservación

Técnicas para mediciones de laboratorio, instrumentos para experimentos de laboratorio de fotoabsorción y fotoionización

Instrumentos para observaciones astronómicas, telescopios, polarimetría, alta resolución y espectrometría y espectroscopia, detectores múltiples

#### Módulo 4: Modelización

Interacción entre la atmósfera y los océanos y la atmósfera y el terreno, estudios climáticos realizados en el pasado

Química del ozono troposférico y estratosférico, interacción entre los aerosoles y las radiaciones solares

Ecuación de continuidad, modelos ionosféricos, estudios de simulación numérica, centelleos ionosféricos, atmósferas planetarias

En la parte experimental del curso, se deberían realizar ocho de los siguientes 11 experimentos:

1. Caracterización de filtros de interferencia
2. Interferometría mediante el interferómetro de Fabry Perot
3. Mediciones de la masa de partículas en suspensión
4. Medición del campo magnético de la Tierra con un magnetómetro de presión de protones
5. Fuente de luz de miniarco de argón
6. Utilización de tintes en láser de colorante
7. Espectrometría de absorción para determinar la densidad de columna de los constituyentes menores de la atmósfera
8. Medición de la concentración de metano en diversas muestras de aire
9. Principios del funcionamiento de las ionosondas
10. Medición de corrientes bajas con la sonda de Langmuir
11. Formación de imágenes ópticas/fotometría con filtros

## Anexo IV

### Material didáctico recomendado

- Atreya, S. K. Atmospheres and ionospheres of the outer planets and their satellites. Nueva York y Berlín, Springer-Verlag, 1986.
- Atreya, S. K., J. B. Pollack y M. S. Matthews, eds. Origin and evolution of planetary and satellite atmospheres. Tucson, University of Arizona Press, 1989.
- Bennett, J., M. Donahue, N. Schneider y M. Voit. The cosmic perspective. Nueva York, Addison Wesley Longman, 1998.
- Boyd, T.J.M. y J. J. Sanderson. Plasma dynamics. Londres, Nelson and Son, 1969.
- Brasseur, G. y S. Solomon. Aeronomy of the middle atmosphere. Dordrecht, D. Reidel Publishing, 1984.
- Budding, E. Astronomical photometry. Nueva York, Cambridge University Press, 1993.
- Christiansen, W. N. y J. A. Hogbom. Radiotelescopes. Nueva York, Cambridge University Press, 1988.
- Daglis, I. A. Space storms and space weather hazards. NATO science series II: mathematics, physics and chemistry. Vol. 38. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- Davies, K. Ionospheric radio waves. Londres, Blaisdell Publishing, 1969.
- Davies, J. K. Satellite astronomy: the principles and practice of astronomy from space. Chichester, Ellis Horwood, 1988.
- Degaonkar, S. S. Space science and Earth's environment. Gujarat University, 1975.
- Fichtel, C. E. y J. I. Trombka. Gamma-ray astrophysics: new insight into the universe. NASA reference publication 1386. Greenbelt, Maryland, Goddard Space Flight Center, 1996.
- Giraud, A. y M. Petit. Ionospheric techniques and phenomena. Dordrecht, D. Reidel Publishing, 1978.
- Hargreaves, J. K. The upper atmosphere and solar-terrestrial relations. Nueva York, Van Nostrand Reinhold, 1979.
- Hargreaves, J. K. The solar-terrestrial environment. Cambridge, Cambridge University Press, 1992.
- Jansen, F., R. Pirjola y R. Favre. Space weather: hazard to the earth? Zurich, Swiss Re Publishing, 2000.
- Jastrow, R. y M. H. Thompson. Astronomy fundamentals and frontiers. Nueva York, John Wiley and Sons, 1972.
- Kelley, M. C. The Earth's ionosphere: plasma physics and electrodynamics, San Diego, Academic Press, Nueva York, 1989.  
Con contribuciones de R. A. Heelis.

- Kitchin, C. R. Optical astronomical spectroscopy. Bristol y Philadelphia, Institute of Physics Publishing, 1995.
- Lang, R. K. Sun, Earth and sky. Nueva York, Springer-Verlag, 1995.
- Lang, R. K. 3ra. ed. corregida y aumentada Berlín y Heidelberg, Springer-Verlag, 1999. I: Radiation, gas processes and high-energy astrophysics. II: Space, time, matter and cosmology.
- Mattei, J. A. y J. R. Percy. Hands-on astrophysics. Cambridge, Massachusetts, American Association of Variable Star Observers, 1998.
- Matsushita, S. y W. H. Campbell, eds. Physics of geomagnetic phenomena. Nueva York, Academic Press, 1967.
- McCormac, B. M. y A. Omholt, eds. Atmospheric emissions. Nueva York, Van Nostrand Reinhold, 1969.
- Pasachoff, J. M. y L. Golub. The solar corona. Cambridge, Cambridge University Press, 1997.
- Phillips, K.J.H. Guide to the Sun. Cambridge, Cambridge University Press, 1992.
- Ratcliffe, J. A. Introduction to the ionosphere and magnetosphere. Cambridge, Cambridge University Press, 1972.
- Rees, M. H. Physics and chemistry of the upper atmosphere. Cambridge, Cambridge University Press, 1989.
- Rishbeth, H. y O. K. Garriot. Introduction to ionospheric physics. Nueva York, Academic Press, 1969.
- Shimazaki, T. Minor constituents in the middle atmosphere. Dordrecht, D. Reidel Publishing, 1985.
- Shu, F. H. The physical universe: an introduction to astronomy. Berkeley, University of California, 1982.
- Stix, M. The Sun: an introduction. Berlín y Nueva York, Springer-Verlag, 1991.
- Tinbergen, J. Astronomical polarimetry. Cambridge, Cambridge University Press, 1996.
- Walker, G. Astronomical observation: an optical perspective. Cambridge, Cambridge University Press, 1987.
- Wentzel, D. G. Astrophysics for university physics courses. <http://www.seas.columbia.edu/~ah297/un-esa/astrophysics/index.html>
- Zeilik, M. y J. Gaustad. Astronomy: the cosmic perspective. Nueva York, John Wiley and Sons, 1990.
- Zirin, H. Astrophysics of the Sun. Cambridge, Cambridge University Press, 1988.