



Asamblea General

Distr. general
15 de enero de 2001
Español
Original: inglés

Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos

Informe sobre el Curso Práctico Naciones Unidas/Agencia Espacial Europea/Comité de Investigaciones Espaciales sobre técnicas de reducción y análisis de datos de satélites

(Dehra Dun (India), 27 a 30 de noviembre de 2000)*

Índice

| <i>Capítulo</i> | <i>Párrafos</i> | <i>Página</i> |
|---|-----------------|---------------|
| I. Introducción | 1-11 | 3 |
| A. Antecedentes y objetivos | 1-7 | 3 |
| B. Organización y programa | 8-11 | 4 |
| II. Resumen de las ponencias | 12-47 | 5 |
| A. Ciencias espaciales y atmosféricas | 12-18 | 5 |
| 1. Técnicas de análisis de Fourier y de pequeñas olas marinas | 12 | 5 |
| 2. Recuperación del ozono a partir de conjuntos de datos obtenidos por satélites | 13-14 | 5 |
| 3. La extracción de datos cronométricos de fuentes de rayos X del experimento astronómico con rayos X de la India a bordo del satélite IRS-P3 | 15 | 6 |
| 4. Recuperación y análisis de espectros ultravioleta de las estrellas con datos del satélite internacional explorador del ultravioleta | 16-18 | 6 |

* Para preparar el presente informe, fue necesario que los diversos oradores suministraran resúmenes de las ponencias que habían presentado en el Curso Práctico. Ese proceso tomó varias semanas, lo que retrasó la presentación del informe.

| | | | |
|----|--|-------|----|
| B. | Teleobservación y meteorología | 19-46 | 8 |
| 1. | Actividades del Centro Asiático de Investigaciones de Teleobservación en materia de recepción, procesamiento automático y distribución de datos | 19-25 | 8 |
| 2. | Desarrollo de métodos de corrección geométrica de las imágenes de resolución multitemporal obtenidas por satélite | 26-29 | 9 |
| 3. | Ordenación de los recursos naturales mediante la teleobservación por satélite | 30-31 | 10 |
| 4. | Elementos fundamentales y detalles de las imágenes obtenidas por satélites y de su procesamiento | 32 | 11 |
| 5. | Imágenes obtenidas por satélites y reducción de datos radiométricos para utilizarlos en aplicaciones meteorológicas | 33-36 | 11 |
| 6. | Recuperación de la información obtenida por satélite, de los datos en bruto a la derivación de parámetros útiles | 37-38 | 12 |
| 7. | Aplicación de la teleobservación en el Departamento General de Administración de Tierras en Viet Nam | 39 | 12 |
| 8. | Procesamiento de datos obtenidos por radar para las aplicaciones oceánicas | 40-44 | 13 |
| 9. | Diseño y construcción de una pequeña estación en tierra (lectura directa de datos) y de una red computadorizada para recibir, procesar y distribuir imágenes S-VISSR del satélite geometeorológico GMS-5 | 45-46 | 14 |
| C. | Demostraciones de teleobservación y sistemas de información geográfica ... | 47 | 14 |

I. Introducción

A. Antecedentes y objetivos

1. La Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (UNISPACE III) recomendó, en particular en la Declaración de Viena sobre el espacio y el desarrollo humano, que en las actividades del Programa de las Naciones Unidas de aplicaciones de la tecnología espacial se promoviera la participación de los Estados Miembros en un marco de colaboración en los planos regional e internacional y recalcó el fomento de los conocimientos y la capacidad de los países en desarrollo¹.
2. La Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, en su 42º período de sesiones, celebrado en 1999, hizo suyo el programa de cursos prácticos, cursos de capacitación, simposios y conferencias previsto para el año 2000². Ulteriormente, la Asamblea General, en su resolución 54/67, de 6 de diciembre de 1999, hizo suyo el Programa de las Naciones Unidas de aplicaciones de la tecnología espacial para 2000.
3. En cumplimiento de la resolución 54/67 de la Asamblea y de conformidad con las recomendaciones de UNISPACE III, las Naciones Unidas, la Agencia Espacial Europea (ESA) y el Comité de Investigaciones Espaciales (COSPAR), y el Gobierno de la India, organizaron el Curso Práctico Naciones Unidas/ESA/COSPAR sobre técnicas de reducción y análisis de datos de satélites, en el Centro de Formación en Ciencia y Tecnología Espaciales para Asia y el Pacífico y el Instituto Indio de Teleobservación (IIRS), del 27 al 30 de noviembre de 2000, en Dehra Dun (India). La Organización de Investigación Espacial de la India (ISRO), actuó como anfitrión del Curso Práctico en nombre del Gobierno del país.
4. El principal objetivo del Curso Práctico fue constituir un foro en el que se reunieran docentes y científicos interesados en el acceso a los datos obtenidos por satélites, así como en su análisis e interpretación. Si bien las aplicaciones científicas de los datos obtenidos por satélites pueden abarcar una amplia gama de temas, desde la vigilancia del medio ambiente hasta la astronomía y desde la meteorología hasta la teleobservación, las técnicas básicas del procesamiento de los datos obtenidos por satélites con los programas informáticos necesarios son, en sustancia, comunes a todas esas actividades. El Curso Práctico examinó las técnicas de reducción y análisis de los datos obtenidos por satélites, de modo que una mayor cantidad de científicos en los países en desarrollo pudiera utilizar los grandes bancos de tales datos que existían en el mundo.
5. El Curso Práctico brindó una plataforma para la interacción entre los científicos que generaban datos obtenidos por satélites para diversas aplicaciones científicas y los científicos -en particular, de los países en desarrollo- que participaban en el acceso a los datos obtenidos por satélites y en su procesamiento, análisis e interpretación para utilizarlos en investigaciones científicas y aplicaciones prácticas en las esferas de su competencia. El Curso Práctico impartió a los participantes conocimientos especializados sobre las herramientas disponibles para acceder a los datos obtenidos mediante sistemas digitales de adquisición de datos, así como para analizarlos e interpretarlos, con diversos fines educativos y científicos. Los principios y métodos tanto básicos como avanzados se presentaron y

fortalecieron con ejemplos prácticos provenientes de las operaciones cotidianas de acceso a los datos, así como de análisis e interpretación. El Curso Práctico también fomentó la comunicación entre los programadores y los usuarios con una amplia gama de conocimientos especializados relacionados con la producción y utilización de conjuntos de programas informáticos para la gestión de los datos en materia de teleobservación, meteorología por satélite, mitigación de los desastres naturales y ciencias espaciales.

6. El Curso Práctico también brindó la oportunidad de iniciar los preparativos para el próximo Curso Práctico de la serie, cuyo anfitrión será el Gobierno de la República Árabe Siria en la Organización General de Teleobservación (GORS), del 25 al 29 de marzo de 2001 en Damasco.

7. El presente informe se ha preparado para que lo examinen la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos en su 44º período de sesiones y su Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos en su 38º período de sesiones, previstos para 2001. Los participantes informaron sobre los conocimientos adquiridos y la labor realizada en el Curso Práctico a las autoridades pertinentes de sus gobiernos, universidades e institutos de investigación.

B. Organización y programa

8. El Curso Práctico se celebró en el Centro de Formación en Ciencia y Tecnología Espaciales para Asia y el Pacífico y el IRS, del 27 al 30 de noviembre de 2000 en Dehra Dun (India). Asistieron 59 investigadores y especialistas en aplicaciones de los siguientes 21 países: Bangladesh, Bhután, Camboya, China, España, Filipinas, India, Indonesia, Irán (República Islámica del), Japón, Kirguistán, Mongolia, Myanmar, Nepal, República Árabe Siria, República de Corea, República Democrática Popular Lao, Sri Lanka, Tailandia, Uzbekistán y Viet Nam, así como representantes de las Naciones Unidas y la ESA.

9. Las Naciones Unidas y la ESA aportaron apoyo financiero para sufragar los gastos de viajes internacionales y las dietas de 16 participantes de los países en desarrollo. La ISRO se encargó del alojamiento, la alimentación y el transporte local de esos mismos participantes, y suministró las instalaciones y el equipo de conferencias del Curso Práctico.

10. La Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre y la ISRO habían preparado conjuntamente el programa del Curso Práctico. Las ponencias en el Curso Práctico abarcaron las técnicas de reducción y análisis de los datos obtenidos por satélites de procesamiento de imágenes que se utilizaban en las esferas de la teleobservación, la meteorología y las ciencias espaciales. En el Curso Práctico se suministró información sobre el acceso a los datos obtenidos por satélites y su interpretación y archivo, y se hicieron demostraciones de los programas informáticos pertinentes.

11. Pronunciaron alocuciones inaugurales los representantes de la ISRO (también en nombre del COSPAR), la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre, la ESA, el Centro de Formación en Ciencia y Tecnología Espaciales para Asia y el Pacífico, el IRS y el Organismo Nacional de Teleobservación de la India.

II. Resumen de las ponencias

A. Ciencias espaciales y atmosféricas

1. Técnicas de análisis de Fourier y de pequeñas olas marinas

12. Se informó de que las técnicas de análisis de Fourier y de pequeñas olas marinas eran herramientas matemáticas para eliminar ruidos en las grabaciones sonoras, comprimir señales, detectar objetos, eliminar ruidos en las grabaciones de imágenes, mejorar las imágenes, reconocer imágenes y hacer análisis de series temporales, con aplicaciones a la teleobservación, la meteorología, las comunicaciones y las ciencias espaciales. La transformada de Fourier actúa como un prisma matemático y desglosa una función en las frecuencias que la componen, del mismo modo en que un prisma descompone la luz en colores. Transformaba una función que varía con el tiempo (o en el espacio) en una nueva función que dependía de la frecuencia. Mientras que la transformada de Fourier convertía una señal con una variable (tiempo o espacio) en otra función con una variable (frecuencia), la transformada de pequeñas olas marinas producía una transformada con dos variables, tiempo y frecuencia. El objetivo de ambas transformadas era convertir la información contenida en una señal en coeficientes que se pudieran manipular, almacenar, transmitir, analizar, comprimir o utilizar para reconstruir la señal original. Los datos y programas informáticos astrofísicos disponibles en la Internet se habían utilizado para demostrar la aplicación de las transformadas de Fourier y de pequeñas olas marinas al análisis de las series temporales.

2. Recuperación del ozono a partir de conjuntos de datos obtenidos por satélites

13. Se señaló que era muy conocida la importancia del ozono en la atmósfera para absorber la letal radiación ultravioleta del sol, y para las reacciones químicas en la atmósfera. Su papel como gas de efecto invernadero era también conocido. La observación de un amplio agotamiento del ozono en la región de la Antártida, durante la primavera de 2000, había sido un descubrimiento notable. Aunque su utilización prácticamente se había reducido, los clorofluorocarbonos permanecerían en la atmósfera durante un tiempo prolongado. Además, las concentraciones de muchos gases de efecto invernadero (por ejemplo, el dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano) iban en aumento y eran motivo de preocupación en relación con el cambio climático. Existía la necesidad de vigilar el ozono y otros gases en la atmósfera para comprender sus cambios químicos y sus efectos sobre el medio ambiente.

14. Las técnicas basadas en satélites eran las más apropiadas para la vigilancia mundial a largo plazo del ozono y los gases conexos. En las mediciones a distancia de los gases atmosféricos se tenían en cuenta las características de absorción o emisión de esos gases. Si bien el ozono tenía bandas de absorción en las longitudes de onda ultravioleta, visible e infrarroja, la mayor parte de los demás gases en trazas mostraba esas características en las regiones infrarroja y de microondas. Se habían hecho amplias mediciones de la columna total del ozono en un período muy prolongado, con el espectrómetro cartográfico del ozono total (TOMS), que se había lanzado al espacio a bordo de diversos satélites para asegurar que se hicieran observaciones continuas. El Satélite de Investigaciones en la Alta Atmósfera

(UARS) había proporcionado conjuntos de datos útiles. Los Estados Unidos de América, el Japón y la ESA se proponían lanzar satélites con múltiples instrumentos a bordo, para medir muchos gases de trazas además del ozono. Con ocasión de la ponencia se analizaron las técnicas básicas de medición por satélite y recuperación de los datos pertinentes.

3. La extracción de datos cronométricos de fuentes de rayos X del experimento astronómico con rayos X de la India a bordo del satélite IRS-P3

15. Se informó de que el experimento astronómico con rayos X de la India (IXAE) consistía en un conjunto de tres contadores proporcionales colimados que se utilizan para estudiar las propiedades de las fuentes cósmicas de los rayos X, a saber, las estrellas de neutrones y los agujeros negros. El IXAE se lanzó a bordo del satélite indio IRS-P3, el 21 de marzo de 1996, y había estado en funcionamiento desde entonces. En los últimos cuatro años y medio, se hicieron con el IXAE aproximadamente 60 observaciones directas, en las que se observaron unas 40 fuentes de punto galácticas de rayos X. Se habían obtenido algunos resultados muy interesantes e importantes, de los que se desprendían diversas propiedades de esos objetos compactos y su interacción con sus entornos. En el Curso Práctico se describieron los instrumentos y los resultados obtenidos hasta la fecha y también se examinaron varios detalles de las diversas técnicas de análisis utilizadas para lograr esos resultados. Se presentaron también otros datos científicos interesantes que se podían obtener de las observaciones existentes con el IXAE, así como las técnicas de análisis de esos datos.

4. Recuperación y análisis de espectros ultravioleta de las estrellas con datos del satélite internacional explorador del ultravioleta

16. La ESA informó de que, en su programa científico, había tenido mucho éxito con misiones singulares en la esfera de las ciencias espaciales, mediante las cuales había acumulado una vasta colección de datos en diversas esferas de las ciencias espaciales básicas. Como consecuencia de la índole especial de las misiones espaciales, en comparación con los observatorios terrestres (por ejemplo, en cuanto a la estabilidad de los instrumentos y la capacidad de reunir muchos datos), la noción de que los archivos eran importantes herramientas de investigación para los investigadores había influido mucho en la reunión de datos en esos proyectos. En el último decenio, se habían hecho esfuerzos significativos por que los datos y los resultados de esas misiones estuvieran directamente a disposición de la comunidad científica. Para la ESA, esos archivos se vinculaban con las siguientes misiones científicas:

| | |
|--|---|
| Satélite internacional explorador del ultravioleta (IUE) | Espectros ultravioleta de los objetos astronómicos |
| Observatorio Espacial de Radiaciones Infrarrojas | Espectros e imágenes infrarrojos de objetos astronómicos |
| Hipparcos | Movimiento adecuado y paralajes de los objetos astronómicos |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Telescopio espacial Hubble | Imágenes y espectros ultravioleta, ópticos e infrarrojos de los objetos astronómicos |
| Observatorio Solar y Heliosférico | Imágenes ultravioleta y de rayos X del sol y de su corona |
| Ulysses | Levantamiento de mapas hidromagnéticos y de partículas de la heliosfera |

17. Debido a la diferente naturaleza de las esferas de estudio de las misiones, cada archivo tenía su estructura y ámbito de aplicación propios. Se analizó la importancia de las limitaciones de los productos de los archivos y se aclaró que las necesidades de la preparación de archivos eran distintas de las de la reducción normal de datos, debido a la gran cantidad de datos disponibles. Se recalcó que la estabilidad de los archivos era un aspecto esencial para los usuarios finales, ya que sólo entonces podían los científicos concentrar sus esfuerzos en la interpretación de los resultados, más bien que en el procesamiento de los datos. Los archivos estables eran también la base esencial sobre la cual podían asentarse con éxito iniciativas como la de los observatorios virtuales. Se aclaró por qué la utilización de archivos de misiones anteriores o en curso representaba un enfoque excepcionalmente eficiente para colectivos que sólo ahora empezaban a tener acceso a los beneficios que se podían obtener de las actividades de las ciencias espaciales. La utilización de los archivos en la educación de los científicos jóvenes representaba un estímulo importante y un medio eficiente de establecer una comunidad con sólidos conocimientos científicos y técnicos. Ello era esencial para empezar a cosechar los beneficios de las actividades espaciales a escala mundial. La utilización de los archivos espaciales en los países en desarrollo era una medida importante en el contexto de los intentos de compartir los beneficios del espacio en muchas esferas de la sociedad.

18. Se analizaron en detalle dos de los archivos de la ESA, a fin de ilustrar las diferencias entre sus estructuras y las consecuencias de su utilización y mantenimiento. Con ello se demostró la importancia de un archivo bien diseñado como herramienta con la que los países en desarrollo pudieran participar en las actividades en el campo de las ciencias espaciales y sus aplicaciones. Los dos archivos eran el sistema de espectros recientemente extraídos (INES) del IUE y el archivo del Observatorio Espacial de Radiaciones Infrarrojas. Ambos ejemplos se analizaron en detalle para demostrar los diferentes enfoques, así como las consecuencias para los usuarios finales y para las necesidades de apoyo a largo plazo a los archivos. El acceso a ambos archivos por medio de Internet y la tecnología conexas de la World Wide Web era totalmente posible. El archivo INES del IUE era un ejemplo de archivo completamente distribuido, que tenía sólo dos centros principales, en el Canadá y España, y prestaba servicios a un sistema mundial de servidores nacionales en 22 países, además de permitir el acceso a los usuarios finales. El archivo del Observatorio Espacial de Radiaciones Infrarrojas estaba sumamente centralizado y tenía dos centros principales, en España y los Estados Unidos, donde el perfeccionamiento de los productos era una herramienta importante. Se analizaron detalladamente las consecuencias de las diferencias de estructura entre ambos enfoques.

B. Teleobservación y meteorología

1. Actividades del Centro Asiático de Investigaciones de Teleobservación en materia de recepción, procesamiento automático y distribución de datos

19. El Instituto Asiático de Tecnología (IAT), establecido en Tailandia en 1959, desempeñaba un papel importante como escuela para graduados, brindando recursos humanos de alto nivel a la región de Asia en diversas esferas de la tecnología. Con su programa de tecnología, aplicaciones e investigaciones espaciales (STAR) ofrecía oportunidades de enseñanza, capacitación e investigación en la esfera de la tecnología espacial, en particular en materia de teleobservación y utilización del Sistema de Información Geográfica (SIG) y de los sistemas mundiales de navegación por satélite.

20. STAR, observando la ampliación de las esferas de aplicación de la tecnología espacial, había redefinido su papel en 1999 en dos aspectos a fin de promover más eficazmente la tecnología espacial en la región. Un aspecto se relacionaba con el papel del programa en el desarrollo de la tecnología y el otro con el de asociado en materia de tecnología. En el desarrollo de tecnología, STAR formaba a estudiantes capaces de desarrollar tecnologías aplicables a la esfera de su especialidad. Había promovido también actividades de investigación, estableciendo su propio centro de investigación. Como asociado en materia de tecnología había establecido, a cargo de todo el Instituto, un laboratorio de SIG y teleobservación en el que ofrecían oportunidades de enseñanza e investigación a todo el IAT. STAR también ponía sus conocimientos especializados al servicio de la región mediante actividades de capacitación, investigación y consultoría.

21. Para desempeñar el papel antes definido STAR tenía tres componentes, a saber, la enseñanza, la capacitación y la investigación. Esos tres componentes compartían recursos humanos, equipo y experiencia en materia de investigación, a fin de maximizar mancomunadamente su eficiencia.

22. La enseñanza, que era una función importante de STAR, abarcaba programas de maestría y doctorado. El programa del curso de maestría duraba 20 meses y se dividía en cinco ciclos. Los tres primeros ciclos se destinaban a convertir los conocimientos básicos en conocimientos avanzados. En los dos últimos ciclos, los estudiantes completaban una tesis de maestría y se los alentaba a contribuir al desarrollo de tecnología aplicable. El programa doctoral duraba 36 meses y los estudiantes se dedicaban a labores de investigación.

23. Respecto de la capacitación, STAR había establecido un Centro de Aplicaciones del SIG para transmitir sus conocimientos especializados a los usuarios. La principal actividad del Centro era impartir cinco cursos que contaban con el apoyo del Organismo Nacional de Actividades Espaciales del Japón. En el IAT se impartían tres cursos de gestión de las cuencas hidrográficas y las zonas costeras y utilización del radar de abertura sintética. Se trataba de cursos avanzados destinados a lograr la integración de la teleobservación y el SIG. Los otros dos cursos eran los llamados cursos "caravana", que se impartían fuera de Tailandia para brindar oportunidades de capacitación a más usuarios finales en la región. El Centro también había iniciado un nuevo tipo de curso, agregando al curso intensivo habitual un programa posterior de miniproyectos de uno a dos meses de duración. Con ese nuevo curso se aumentaba la eficiencia del curso intensivo.

24. STAR estableció un centro de investigación, el Centro Asiático de Investigaciones de Teleobservación, en cooperación con la Asociación Asiática de Teleobservación, a fin de promover las actividades de investigación y prestar apoyo técnico a la región. El Centro organizaba proyectos de investigación y ofrecía oportunidades de investigación a investigadores visitantes. El Centro recibía del Organismo Nacional para el Estudio de los Océanos y la Atmósfera (NOAA) de los Estados Unidos datos del radiómetro avanzado de muy alta resolución (AVHRR) y producía de manera operacional, con respecto a períodos de 10 días, un índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) con imágenes compuestas libres de nubes y distribuía los datos en Internet para promover las aplicaciones en tiempo casi real. Preveía establecer, en marzo de 2001, una estación receptora del espectrorradiómetro de formación de imágenes de resolución moderada (MODIS).

25. STAR quisiera establecer un centro de aplicación de datos para suministrar más datos y prestar apoyo técnico a los usuarios en la región. Ello contribuiría a la aplicación práctica de los datos obtenidos por teleobservación y la actualización de las investigaciones en la región.

2. Desarrollo de métodos de corrección geométrica de las imágenes de resolución multitemporal obtenidas por satélite

26. Se Comunicó que, recientemente, se había generado y puesto a disposición de los interesados un gran volumen de datos de imágenes naturales y sintéticas y de cuadrícula, por ejemplo, datos de imágenes actuales obtenidos por satélites, el Satélite Europeo de Teleobservación (ERS), el Satélite de Teleobservación Terrestre (Landsat), el satélite con radar de abertura sintética (RADARSAT) y el satélite de observación de la Tierra (SPOT). Se tenía la intención de lanzar, hasta el año 2005, más de 100 satélites de observación de la Tierra. La cartografía digital basada en la ortofotografía era otra esfera en la que se hacían inversiones financieras importantes y se producía gran cantidad de datos de barrido. Evidentemente, las oportunidades se multiplicaban si se podían integrar diferentes tipos de datos en una base de datos. El desarrollo de tal sistema de base de datos permitiría utilizar eficazmente esos datos con fines como los de la vigilancia ambiental de la Tierra.

27. La investigación se había centrado en dos métodos para establecer sistemas de bases de datos que permitieran administrar un número muy vasto de imágenes geocodificadas obtenidas por satélites y de datos de barrido. Esos métodos se describen a continuación.

28. Para lograr una corrección geométrica de mucha exactitud era indispensable contar con puntos de control en tierra (GCP), pero no siempre era fácil encontrar claramente GCP en un lugar para registrar las coordenadas de una imagen. Además, la corrección geométrica basada en los GCP requería mucha mano de obra y se podían utilizar métodos de corrección geométrica tradicionales sin contar con buenos GCP en un lugar. Por ello, era necesario corregir en forma geométrica todas las imágenes obtenidas por satélite, para utilizarlas de manera automática al mismo tiempo. Se había propuesto un método para identificar de manera automática los GCP y los puntos de enlace, así como ajustar los errores geométricos en todas las imágenes sobre la base de la idea de un ajuste en bloque, que se utilizaba en la fotogrametría. Ese método ayudaba a aumentar la eficiencia y reducir la cantidad total de GCP requeridos para lograr corrección geométrica.

29. En primer lugar, las formas de las huellas de los píxeles se representaban en un sistema dado de coordenadas. Proyectando los límites de los píxeles, o sea, las cuatro esquinas del plano de la imagen, sobre el sistema de coordenadas en tierra donde se generaban las cuadrículas, la relación entre píxel y cuadrícula podía representarse de manera exacta y explícita. El proceso entrañaba “mucho cómputo”, pero los límites proyectados de los píxeles podían utilizarse repetidamente, siempre y cuando las cuadrículas se definieran con el mismo sistema de coordenadas. El segundo paso consistía en representar las huellas de los límites de los píxeles mediante una combinación de características lineales. Los límites de los píxeles y los de las líneas podían aproximarse recurriendo a segmentos de línea con los mismos intervalos. Ello permitía un cómputo muy rápido de los puntos de intersección con los límites de las cuadrículas.

3. Ordenación de los recursos naturales mediante la teleobservación por satélite

30. Se informó de que adoptar estrategias de desarrollo sostenible era, ya no una opción, sino una necesidad imperativa para que la humanidad lograra la seguridad económica y alimentaria. Ese había sido el tema central del Programa 21, aprobado por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en 1992. Los conocimientos científicos y tecnológicos debían contribuir a lograr estrategias de desarrollo sostenible. Si bien los avances espectaculares de la tecnología espacial en los últimos cuatro decenios habían dado a conocer muy convincentemente el concepto y la índole de una sola aldea mundial frágil, la supervivencia de la Tierra en su conjunto dependía de que se promoviera una calidad de la vida razonable, en armonía con la naturaleza y el medio ambiente. Ello abarcaba la vigilancia y la gestión, así como la conservación, de los recursos naturales disponibles. La teleobservación por satélite, combinada con los sistemas de información geográfica, desempeñaba un papel importante en la determinación, el fomento y la vigilancia de la capacidad de sustento en general. Asimismo, ayudaba a elaborar planes de acción apropiados para el desarrollo sostenible.

31. La tecnología espacial, además de reportar beneficios directos, había demostrado claramente la interconexión que había entre los fenómenos naturales y los antropogénicos que ocurrían en todas partes de la Tierra por efecto del tiempo, el clima, la geosfera y la biosfera, lo que vinculaba de manera inextricable el destino de cada país con el del mundo entero. Se presentaron ejemplos relacionados con la cubierta forestal, el levantamiento de mapas de las tierras incultas, la estimación del cultivo agrícola, la estimación del rendimiento y su vigilancia. Se dio un ejemplo de gestión integrada de los recursos con miras al desarrollo sostenible, en que se había desarrollado un plan de acción para un lugar concreto. Se hizo también hincapié en las herramientas de análisis ambiental en las que se recurría a la geoinformática y la mitigación de los daños causados por los desastres naturales, utilizando ejemplos de datos obtenidos con satélites de teleobservación. Pero los resultados se centraron en la necesidad de institucionalizar la tecnología y desarrollar mecanismos, la formación de capacidad y el intercambio de datos entre los países en desarrollo. A menos que se aprobaran a escala mundial estrategias de gestión y aprovechamiento de los recursos basadas en la teleobservación desde el espacio y en otras aportaciones de la tecnología de la información que fueran coherentes con las demandas de la sociedad y las prácticas culturales, no se podría garantizar la seguridad ambiental en los próximos decenios.

4. Elementos fundamentales y detalles de las imágenes obtenidas por satélites y de su procesamiento

32. La importancia de las diferentes imágenes obtenidas por teleobservación en las diferentes bandas de frecuencia del espectro electromagnético estribaba en el mecanismo de interacción entre la radiación electromagnética y el material del cual se formaba una imagen. Toda imagen mostraba un conjunto de números que indicaba niveles de claridad discretos (píxeles). El procesamiento de imágenes empezaba con la corrección radiométrica y geométrica de la imagen, que luego podía registrarse en un mapa con un sistema de coordenadas, de modo que pudieran agregarse otros datos espaciales. Para fomentar la interpretación y el análisis, la imagen se mejoraba aún más y se clasificaba dentro de diversas categorías de objetos. Se analizaron diversas técnicas de mejoramiento y herramientas de clasificación, y se dieron ejemplos al respecto.

5. Imágenes obtenidas por satélites y reducción de datos radiométricos para utilizarlos en aplicaciones meteorológicas

33. Se informó de que la predicción meteorológica se realizaba en tres escalas temporales importantes, a saber, a corto, mediano y largo plazo. Básicamente, se trataba de un problema de valores iniciales a corta y mediana distancia, que requería que se prescribieran con exactitud las condiciones iniciales. Los satélites, dada su cobertura sinóptica y altamente repetitiva, podían brindar una imagen mundial de los vientos a cuatro niveles, además de indicar los perfiles de la temperatura y la humedad en la troposfera. Esos parámetros se utilizaban para modelos de predicción meteorológica numérica que permitían predecir el clima y las precipitaciones pluviales. Uno de los parámetros de límites más importantes obtenidos por satélite se relacionaba con la temperatura de la superficie marina.

34. Había dos clases de satélites meteorológicos, los geoestacionarios (que brindaban una cobertura repetitiva, situados sobre una determinada parte del planeta) y los orbitales (que brindaban cobertura mundial aproximadamente dos veces al día). Los instrumentos a bordo de los satélites eran de tipo pasivo (por ejemplo, formadores de imágenes -radiómetros de las regiones infrarroja y de microondas- y sondas -verticales y de barrido-) o activo (radar -altímetro, dispersómetro, abertura sintética, lidar y otros-).

35. La serie de satélites geoestacionarios del Sistema Nacional de Satélites de la India (INSAT) y la serie de satélites heliosincrónicos polares del NOAA habían sido, durante casi dos decenios, los elementos principales para el estudio de los principales sistemas meteorológicos de la India, incluidos los sistemas tropicales, el monzón sudoccidental y las perturbaciones occidentales. El INSAT suministraba datos sobre el movimiento de las nubes a causa de los vientos, el índice de precipitaciones y la radiación de onda larga de salida (ORL) y la NOAA suministraba datos sobre la temperatura de la superficie marina. Se hicieron demostraciones de cómo se obtenían esos datos.

36. La India había lanzado recientemente el satélite Oceansat-1, provisto de un radiómetro explorador de microondas multicanal (MSMR) para medir los parámetros atmosféricos marinos y de la superficie oceánica.

6. Recuperación de la información obtenida por satélite, de los datos en bruto a la derivación de parámetros útiles

37. Se señaló el problema inverso de la clasificación temática de las imágenes obtenidas por teleobservación para recalcar que no eran viables soluciones únicas y que un método de resolver ese problema mal planteado era introducir la limitación de una probabilidad máxima (MLH). Con ayuda del estudio de un caso, se demostró que la MLH podía clasificar imágenes con una exactitud de aproximadamente un 72%. Se utilizaba una cobertura terrestre del SIG basada en la enumeración, que describía las diferentes clases de una determinada imagen, para redefinir las probabilidades a priori (expresadas como el coeficiente entre el área en una determinada clase temática y el área total de la imagen) y la clasificación de la MLH se utilizaba en forma iterativa hasta que el aumento de la exactitud sólo permitiera una discrepancia del 3% con respecto a la cobertura del SIG. Incluso utilizando ese método, con cinco iteraciones podía lograrse una clasificación cuya exactitud fuera solamente de un 87%. Las razones de esa limitación se explicaron con ayuda de histogramas y dispersogramas entre diferentes bandas.

38. Dado que la agricultura, los sistemas de suelos y la meteorología podían considerarse homogéneos a escalas de 10 metros y 100 kilómetros, respectivamente, y que se trataba de procesos intermodulares, la media geométrica de 10 metros y 100 kilómetros, es decir, 1 kilómetro, podía ser la escala de las observaciones espaciales destinadas a las aplicaciones agrometeorológicas. Se demostró la relación, con un nivel de confianza del 98% con respecto a la escala distrital, entre el perfil temporal del NDVI con datos procedentes del AVHRR y los grados-día crecientes -el indicador convencional agrometeorológico del crecimiento-. Los problemas de la variación de la emisividad y el cambio en la exposición relativa por zonas de los suelos y los cultivos con respecto al ciclo de crecimiento de los cultivos se resolvieron estimando la temperatura (T_s) del pixel en dos supuestos extremos de un suelo totalmente desprovisto de vegetación (T_g) y un suelo plenamente cubierto de vegetación (T_v), utilizando el valor de emisividad respectivo en las bandas 4 (10,3-11,3 μm) y 5 (11,5-12,5 μm) del AVHRR; los valores del NDVI_g y el NDVI_v para las situaciones en que se describían las emisividades utilizadas para calcular T_g y T_v estaban disponibles en la literatura. El T_s se estimaba utilizando $T_s = T_g(1 - \text{NDVI}_n) + T_v * \text{NDVI}_n$, donde $\text{NDVI}_n = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_g) / (\text{NDVI}_v - \text{NDVI}_g)$. En este caso, el NDVI era el NDVI observado del pixel con una temperatura de T_s .

7. Aplicación de la teleobservación en el Departamento General de Administración de Tierras en Viet Nam

39. Se informó de que el Centro de Teleobservación era una dependencia del Departamento General de Administración de Tierras en Viet Nam, establecido en 1985 sobre la base de una División de Teleobservación que había funcionado desde 1980. En el Centro, las aplicaciones de la teleobservación se centraban en el procesamiento de imágenes para suministrar a los usuarios datos obtenidos por satélites que se encontraban a diferentes niveles de procesamiento, incluido el nivel 3, y actualizar los mapas topográficos. Otra actividad del Centro era crear mapas temáticos, como los de utilización de las tierras a diferentes escalas. Hasta la fecha, todas las aplicaciones se habían basado en datos ópticos, como los de SPOT y Landsat y las imágenes de diversos satélites rusos. El proyecto de aplicaciones de la tecnología de la teleobservación a la gestión de las zonas costeras, que el Centro

ejecutaba con asistencia técnica del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales Internacionales, la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre y la ESA, daría un nuevo impulso a los desarrollos ulteriores. Estaba destinado a fomentar la capacidad de aplicar la tecnología de la teleobservación a las actividades operacionales de cartografía del Centro, concretamente en la medida en que se relacionaran con la zona costera de Viet Nam, y utilizar un importante componente de teleobservación mediante microondas. Se presentaron los primeros resultados del proyecto en curso.

8. Procesamiento de datos obtenidos por radar para las aplicaciones oceánicas

40. La ponencia abarcó una introducción a las técnicas con radar (radares de abertura real y abertura sintética e interferometría) y un análisis de la importancia de los instrumentos provistos de un radar en el espacio para las aplicaciones oceanográficas.

41. La primera parte de la ponencia trató de los radares de abertura real y, en particular, de las diferencias en la representación de las imágenes entre las ópticas y las obtenidas por radar. Se presentó el concepto de una proyección de alcance oblicuo y se lo comparó con las proyecciones clásicas de las imágenes ópticas. Esa parte se completó luego con una distinción entre la definición en distancia y la definición en dirección. Dado que, en esencia, el dispersómetro del ERS era un radar de abertura real, se presentaron algunos conceptos de dispersometría. Se analizaron las estrategias para mejorar la definición en distancia y la definición en dirección (en el caso de los radares de abertura sintética) y después se explicó el papel del efecto de Doppler en la formación de imágenes por radar. Se dieron algunas indicaciones sobre las características de las imágenes de los radares de abertura sintética, en particular sobre los efectos debidos a la aspereza de la superficie, el ángulo de incidencia y las características dieléctricas del objetivo, que se vinculaban con la profundidad de la penetración y la polarización de la radiación concomitante. Se concluyó el debate general sobre la formación de imágenes mediante radares con un debate acerca de una imagen de Dehra Dun.

42. El segundo tema fue la interferometría, cuyas principales ecuaciones se explicaron brevemente. Se utilizaron un interferograma de Dehra Dun y su imagen de coherencia para ilustrar algunas de las principales aplicaciones interferométricas (topografía, generación de mapas de pendientes, clasificación del uso de las tierras, detección de los cambios, movimiento del hielo y aplicaciones relacionadas con los terremotos y volcanes).

43. El papel de los instrumentos provistos de un radar en el espacio para las aplicaciones oceanográficas era muy importante, debido a que el océano desempeñaba una función central en muchos aspectos de la vida, en un contexto no solamente geofísico sino también socioeconómico. Uno de los principales elementos de los parámetros por medir en el océano era el viento y el dispersómetro era una herramienta muy útil porque permitía una cobertura mundial con una resolución temporal razonable que ayudaba a los meteorólogos y oceanógrafos a comprender mejor las relaciones entre el océano y la atmósfera. Los radares medían la aspereza del océano. Se describió la derivación de la velocidad y la dirección del viento a partir de la aspereza del océano, que estaba directamente relacionada con el viento que soplabla sobre la superficie marina.

44. El radar-altímetro tenía ya una larga historia. El primer radar-altímetro había volado a bordo del Skylab en 1973 y después se había lanzado al espacio una serie de otros instrumentos con una precisión cada vez mayor. Las diversas aplicaciones de ese tipo de instrumento dependían no solamente de la exactitud de las mediciones temporales a bordo, sino también de la cobertura, las diversas características de los instrumentos, las características de las misiones y las diversas correcciones geofísicas que se debían aplicar. Entre las principales aplicaciones oceanográficas del radar-altímetro estaban las corrientes, el nivel medio del mar, El Niño, la topografía del nivel del mar y las mareas. Sin embargo, había muchas otras aplicaciones, en particular para vigilar las aguas interiores (por ejemplo, la evolución del Lago Chad o del Mar Caspio) o la topografía de la capa de hielo continental.

9. Diseño y construcción de una pequeña estación en tierra (lectura directa de datos) y de una red computadorizada para recibir, procesar y distribuir imágenes S-VISSR del satélite geometeorológico GMS-5

45. En esta ponencia se describió un sistema desarrollado en el Instituto de Física del Centro Nacional de Ciencias Naturales y Tecnología de Viet Nam para recibir, procesar y distribuir imágenes de S-VISSR del satélite GMS-5, el satélite meteorológico geosincrónico japonés que funcionaba desde junio de 1995. El GMS-5 estaba estacionado sobre el Ecuador, a 140° de longitud Este, a unos 35.800 kilómetros de la Tierra. El sistema se basaba en una red de área local de computadoras personales y tanto el equipo como los programas informáticos eran fáciles de usar. El equipo del sistema consistía en una antena, un amplificador de bajo nivel de ruido, un conversor-reductor/receptor, un sincronizador de bit/cuadro y una tarjeta de ingestión para computadora personal. Una de las computadoras personales de la red de área local tenía por objetivo prestar servicios a todo el proceso. El sistema constaba de diversas funciones de procesamiento de imágenes que podían dividirse en cuatro módulos principales: recepción de imágenes, preprocesamiento y despliegue de imágenes, procesamiento convencional de datos contenidos en las imágenes y aplicación. Se contaba con las funciones de aplicación para responder a cualquier pregunta concreta que los usuarios pudieran plantear. La arquitectura del sistema, en forma de archivo abierto, permitía a los usuarios leer y analizar virtualmente cualquier tipo de imagen y compartir los datos con otros usuarios del programa informático.

46. El sistema antes descrito podía recibir señales de los satélites geometeorológicos chinos de la serie FY-2. El 25 de junio de 2000 se había lanzado un nuevo satélite de la serie, el FY-2B, y el sistema había recibido sus primeras imágenes en septiembre de 2000.

C. Demostraciones de teleobservación y sistemas de información geográfica

47. Un requisito fundamental del Programa 21 es que se apoye el desarrollo sostenible a la vez que se salvaguarde el medio ambiente de la Tierra. Ello requiere una gestión óptima de los recursos naturales, lo que depende a su vez de que se disponga de información fiable y oportuna a nivel nacional y regional. Los datos obtenidos por teleobservación desempeñan un papel cada vez más importante como

fuentes de información fiable y oportuna que se necesitan para la gestión sostenible de los recursos naturales y la protección del medio ambiente. Mediante el SIG, los datos obtenidos por teleobservación pueden integrarse con datos de otras fuentes para facilitar los esfuerzos de los administradores de recursos, los planificadores y los encargados de adoptar decisiones por obtener la información pertinente que necesitan. Para facilitar esa gestión sostenible de los recursos en los países en desarrollo, el Centro de Formación en Ciencia y Tecnología Espaciales para Asia y el Pacífico imparte un curso de posgrado en teleobservación y SIG, aplicado a varias disciplinas relacionadas con los recursos de la Tierra. El lugar en que se imparte el curso, el IRS, es un importante instituto de capacitación en la región, que ha formado a personas de la India y otros países en los últimos tres decenios. El Instituto está equipado con las instalaciones informáticas más adelantadas, como computadoras personales y estaciones de trabajo con dispositivos periféricos y programas informáticos modernos. Asimismo, cuenta con laboratorios que permiten comprender el equipo y la tecnología de verificación del suelo. Los participantes en el Curso Práctico tuvieron la oportunidad de familiarizarse con el equipo y los programas informáticos disponibles en el Instituto y el Centro de Formación en Ciencia y Tecnología Espaciales para Asia y el Pacífico durante las sesiones de demostración de reducción, procesamiento, análisis y aplicación de datos obtenidos por satélites.

Notas

- ¹ *Informe de la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (UNISPACE III)*, cap. I, resolución 1, parte I, secc. 1 e) ii) y cap. II, párr. 409 d) i).
- ² *Documentos Oficiales de la Asamblea General, quincuagésimo cuarto período de sesiones, Suplemento N° 20 (A/54/20)*, párr. 52.