



Asamblea General

Distr. general
14 de agosto de 2001
Español
Original: inglés

Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos

Informe del Curso Práctico Naciones Unidas/Agencia Espacial Europea/Comité de Investigaciones Espaciales sobre técnicas de análisis de datos y procesamiento de imágenes

(Damasco, 25 a 29 de marzo de 2001)

Índice

	<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 exposiciones	12-54	4
A. Sistemas de teleobservación y de información geográfica: estudios monográficos	12-23	4
1. Egipto: elaboración de modelos del entorno del Desierto Occidental utilizando datos obtenidos por satélite	12-13	4
2. Jamahiriya Árabe Libia: degradación de la tierra y desertificación ..	14-15	5
3. Arabia Saudita: estudio de los recursos hídricos en Al-Madinah al-Munawwarah	16	5
4. Sudán: familiarización de los encargados de adoptar decisiones de los países en desarrollo con los posibles usos de la tecnología de teleobservación	17-19	5

5.	República Árabe Siria: cartografía del aprovechamiento del suelo y determinación de factores contaminantes en la cuenca ribereña de Al-Awage mediante técnicas de teleobservación	20-21	6
6.	República Árabe Siria: la teleobservación aplicada a los recursos agrarios y el aprovechamiento de la tierra	22-23	6
B.	Teleobservación y SIG: análisis de datos y procesamiento de imágenes ..	24-43	7
1.	Procesamiento digital de imágenes	24-25	7
2.	Utilización de la teleobservación y del SIG para la ordenación de los recursos naturales	26-28	7
3.	Ordenación de los recursos naturales mediante el enfoque geomático	29-31	7
4.	Elaboración de modelos de mezcla lineal para la representación cartográfica de la vegetación en las tierras de secano	32-34	8
5.	Evaluación de la clasificación basada en la textura de una imagen obtenida por radar de apertura sintética	35-36	8
6.	Clasificación mixta de una imagen de SPOT-XS utilizando información textural y multispectral	37-42	9
7.	Función y recuperación de los parámetros geofísicos en el estudio de los procesos de la superficie terrestre	43	9
C.	Aplicación de la teleobservación en la meteorología	44-47	9
	Perspectiva general de los sistemas de satélites meteorológicos operativos en órbita geoestacionaria y polar	44-47	9
D.	Fotogrametría digital basada en computadoras personales	48-51	10
E.	Teleobservación práctica y SIG en la Organización General de Teleobservación (GORS)	52-54	11

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), en particular en su Declaración de Viena sobre el espacio y el desarrollo humano, recomendó que el Programa de las Naciones Unidas de aplicaciones de la tecnología espacial promoviera la participación de los Estados Miembros en un marco de colaboración en los planos regional e internacional, subrayando la promoción y el desarrollo de los conocimientos y capacidades en los países en desarrollo¹.

2. En su 43º período de sesiones, celebrado en 2000, la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos hizo suyo el programa de cursos prácticos, cursos de capacitación, simposios y conferencias previsto para 2001². Posteriormente, la Asamblea General, en su resolución 55/122, de 8 de diciembre de 2000, hizo suyo el Programa de las Naciones Unidas de aplicaciones de la tecnología espacial para 2001.

3. De conformidad con la resolución 55/122 y con arreglo a la recomendación de UNISPACE III, las Naciones Unidas, la Agencia Espacial Europea (ESA) y el Gobierno de la República Árabe Siria celebraron en la Organización General de Teleobservación (GORS) el curso práctico Naciones Unidas/Agencia Espacial Europea (ESA)/Comité de Investigaciones Espaciales (COSPAR) sobre técnicas de análisis de datos y procesamiento de imágenes. Dicho curso se celebró, del 25 al 29 de marzo de 2001, en Damasco. La GORS actuó como anfitriona del curso práctico en nombre del Gobierno de la República Árabe Siria.

4. El principal objetivo del curso práctico fue crear un foro para técnicos, educadores y científicos que se ocupan del acceso a datos obtenidos por satélite, su análisis e interpretación. Aunque las aplicaciones científicas y técnicas de tales datos pueden ser muy diversas, desde la vigilancia del medio ambiente hasta la astronomía, y de la meteorología a la teleobservación, las técnicas básicas del procesamiento de datos obtenidos por satélite con los programas informáticos necesarios serían en lo esencial las mismas en todas estas actividades. En el curso práctico

se examinaron las técnicas de análisis de datos y procesamiento de imágenes, a fin de que los grandes bancos de estos datos que existen en todo el mundo pudieran ser utilizados por un mayor número de técnicos y científicos de los países en desarrollo.

5. El curso práctico constituyó una plataforma para la interacción entre técnicos y científicos que generaban datos obtenidos por satélite para diversas aplicaciones científicas y técnicas y para aquéllos, en particular los de países en desarrollo, que se ocupaban del acceso a datos obtenidos por satélite, su procesamiento, análisis e interpretación para investigaciones científicas y aplicaciones prácticas en sus ámbitos de experiencia técnica. En la actividad se impartieron a los asistentes conocimientos especializados de los instrumentos existentes para el acceso a los datos obtenidos mediante sistemas de adquisición digital, y su análisis e interpretación para una diversidad de fines prácticos, educativos y científicos. Se presentaron principios y métodos básicos y avanzados, que se reforzaron con ejemplos prácticos de las actividades cotidianas de acceso, análisis e interpretación de datos. Se fomentó también la comunicación entre usuarios con diverso grado de experiencia técnica en la producción y utilización de conjuntos de programas informáticos para la gestión de datos en los ámbitos de la teleobservación, el sistema de información geográfica (SIG), la fotogrametría y sus aplicaciones en la ordenación de los recursos naturales, en particular, la vigilancia de los recursos hídricos, la desertificación, el aprovechamiento de la tierra, la contaminación ambiental y los cambios del ecosistema en las zonas áridas.

6. Además, el curso práctico brindó la oportunidad de comenzar los preparativos del siguiente curso práctico de la serie, que será acogido por el Gobierno de Nigeria, de ser posible en el Centro Regional Africano de Formación en Ciencia y Tecnología Espaciales, para celebrarse, en idioma inglés, en Ile-Ife (Nigeria), en 2002.

7. El presente informe ha sido preparado para presentarlo a la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos de la Comisión en su 39º período de sesiones, previsto para 2002. Los participantes han informado sobre los conocimientos adquiridos y la labor realizada durante el curso práctico a las autoridades correspondientes de sus gobiernos, universidades e

instituciones; varios de los documentos presentados en el curso se publicarán en el documento titulado *Seminars of the United Nations Programme on Space Applications: Selected Papers from Activities Held in 2001 (ST/SPACE/7)*.

B. Organización y programa

8. El curso práctico se celebró en la GORS en Damasco del 25 al 29 de marzo de 2001. Asistieron 56 técnicos, educadores y científicos de los 15 países siguientes: Alemania, Arabia Saudita, Argelia, Austria, Egipto, India, Jamahiriya Árabe Libia, Jordania, Líbano, Marruecos, Nigeria, República Árabe Siria, Sudán, Túnez y Yemen, así como de las Naciones Unidas y la ESA.

9. Las Naciones Unidas y la ESA aportaron apoyo financiero para sufragar los gastos de viajes aéreos internacionales y los gastos de sustento de 20 participantes de países en desarrollo. El alojamiento, la alimentación y el transporte interno para los mismos participantes, así como los locales de reunión y el equipo del curso práctico estuvieron a cargo de la GORS.

10. El programa del curso práctico había sido preparado conjuntamente por la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre, la GORS, la ESA y el COSPAR. Las exposiciones presentadas en el curso comprendieron las técnicas de análisis de datos de satélites y de procesamiento de imágenes utilizadas en los ámbitos de la teleobservación, la meteorología y las ciencias espaciales. También se presentó información sobre el acceso a datos obtenidos por satélite, su interpretación y archivo y se hicieron demostraciones de los programas informáticos apropiados.

11. Pronunciaron alocuciones inaugurales representantes de la GORS, la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre y la ESA.

II. Resumen de las exposiciones

A. Sistemas de teleobservación y de información geográfica: estudios monográficos

1. Egipto: elaboración de modelos del entorno del Desierto Occidental utilizando datos obtenidos por satélite

12. Se informó que Egipto había iniciado un ambicioso proyecto para recuperar tierras en el Desierto Occidental, que forma parte del gran desierto africano. Con el proyecto Toshka se aumentarán los recursos hídricos del Nilo para recuperar tierras desérticas. Además, el proyecto estaba vinculado a actividades agrarias para la recuperación de tierras, la introducción de cultivos, actividades relacionadas con los sectores alimentario y agroindustrial, la vivienda, el transporte y el suministro de diversos tipos de energía. No estaba bien documentada ni se comprendía bien la influencia de las condiciones climáticas en las actividades mencionadas, pero el entorno árido y el desplazamiento de las dunas podían afectar enormemente su viabilidad sostenida y el aspecto económico de tales actividades. La creación de condiciones climáticas apropiadas, haciendo hincapié en la utilización correcta de los medios pasivos y naturales, parecía ser que había permitido mejorar las condiciones de vida y también obtener considerables ahorros en los gastos de ejecución del proyecto. Sin embargo, estas prácticas deberían basarse en datos ambientales bien establecidos y verificados de manera fidedigna que resultaran adecuados para los fines de concepción, vigilancia y evaluación.

13. En la exposición se detalló una propuesta para utilizar datos obtenidos por satélite a fin de elaborar una serie coherente de modelos ambientales y climáticos adecuados para su utilización, con diverso grado de detalle, en las distintas actividades mencionadas. El experimento incluyó niveles de modelización macroclimáticos, mesoclimáticos y microclimáticos de muestra. En los modelos se incorporaron mapas de imágenes digitales y bases de datos meteorológicas para establecer los elementos básicos de modelo. Se integró en el modelo, a fines de análisis y simulación, una serie de subrutinas aerodinámicas para determinar la velocidad del viento de superficie y las condiciones de intemperización en lugares determinados. El modelo se basó en gran medida en técnicas modernas de visualización de datos para la elaboración de los modelos, a fin de mejorar su grado de utilización y hacer más fácil su uso. En la propuesta se asignó gran importancia a la labor de coordinación con otras entidades que trabajaban en esferas conexas, por ejemplo la desertificación, la meteorología, la agricultura, la arquitectura, la arqueología, la teleobservación y la utilización de la energía.

2. Jamahiriya Árabe Libia: degradación de la tierra y desertificación

14. En la exposición se presentaron los antecedentes de la información existente sobre los procesos que ocasionaron y afectaron la degradación de la tierra y la desertificación en la Jamahiriya Árabe Libia, haciendo hincapié en la zona costera mediterránea, donde existían posibles zonas agrícolas y se concentraban más de las tres cuartas partes de la población. En los últimos cuatro decenios se habían adoptado medidas nacionales para combatir la desertificación, y se necesitó con urgencia continuar la labor. En la exposición se aludió también a la aplicación de la teleobservación y los SIG al estudio de la degradación de la tierra en la región del noroeste de la Jamahiriya Árabe Libia. Se indicó que la escasez de agua (aridez), el pastoreo excesivo y la transformación de los pastizales en tierras agrícolas de secano había ocasionado la destrucción de la capa de vegetación natural (la reducción de la bioproductividad y la invasión de especies nuevas) e inducía erosión eólica e hídrica. La creciente presión humana sobre la utilización de acuíferos subterráneos localizados ocasionó la irrupción de agua marina en la zona ribereña.

15. En las zonas irrigadas, el resultado de la irrigación excesiva y el drenaje inadecuado habían ocasionado anegamiento y salinización secundaria. Los estudios de vigilancia en la zona de El-Witia (proyecto experimental), que se habían realizado en el Centro de Teleobservación y Ciencias Espaciales de Libia, en 1997, habían revelado la gravedad de la degradación de los recursos naturales en los pastizales de las zonas ribereñas de la Jamahiriya Árabe Libia (reducción de la capa de vegetación del 52% y aumento en 227% de la formación de dunas en un período de diez años, de 1986 a 1996). Se habían adoptado muchas medidas para combatir la desertificación en los últimos decenios, tales como el aprovechamiento y la conservación de los recursos hídricos, el control de la erosión eólica e hídrica, la reforma agraria, la recuperación y el aprovechamiento de la tierra y otras actividades de carácter social y jurídico. Algunas de las medidas contra la desertificación anteriores y en curso aplicadas habían tenido éxito, pero otras no resultaron adecuadas. Por ello, se debe evaluarlas a fin de establecer una perspectiva clara para los programas futuros. La exposición se centró también en la importancia de modificar las políticas relativas a los recursos hídricos

teniendo en cuenta la creciente escasez de agua en el país y la función de la investigación, la enseñanza y la capacitación en la lucha contra la desertificación y el logro de una mayor eficiencia para contener la degradación de la tierra.

3. Arabia Saudita: estudio de los recursos hídricos en Al-Madinah al-Munawwarah

16. El principal objetivo del estudio presentado fue evaluar los recursos hídricos de la ciudad de Al-Madinah al-Munawwarah y su entorno, a fin de encontrar nuevas fuentes de agua subterránea para satisfacer las necesidades cada vez mayores de agua potable de la ciudad. Se habían obtenido imágenes de satélite (incluidas las del Landsat-5 thematic mapper (TM) y del sistema para la observación de la Tierra (SPOT) para estudiar la geología de la zona. Se habían generado imágenes tridimensionales que se utilizaron en estudios detallados de la topografía y los sistemas de drenaje. Se habían efectuado estudios geofísicos, incluso magnéticos y de resistibilidad, así como ensayos de bombeo de varios manantiales existentes en la zona. Ello se hizo para determinar la profundidad de la base rocosa y con ello la densidad de los sedimentos, así como la profundidad y el volumen de los acuíferos. Además, se habían elaborado modelos matemáticos para determinar el potencial actual y futuro de los acuíferos. En la zona de estudio se habían localizado varios lugares en los que puede obtenerse agua potable y que pueden utilizarse para satisfacer la creciente demanda de agua potable en la zona bajo estudio. El proyecto había recibido el apoyo parcial de la Dirección de Agua Potable de Al-Madinah al-Munawwarah.

4. Sudán: familiarización de los encargados de adoptar decisiones de los países en desarrollo con los posibles usos de la tecnología de teleobservación

17. El Sudán, que tiene una superficie de 2,5 millones de km², es el mayor país de África y tiene climas y recursos naturales muy diversos. La explotación de estos recursos en un país en desarrollo como el Sudán podría resultar muy difícil, pues la tecnología se encuentra en la base del proceso de desarrollo. Por ello, la necesidad de aprovechar la tecnología había dado un carácter esencial a la utilización en ciernes de la teleobservación, dado que se trataba de una de las técnicas avanzadas más empleadas. En los planos local, regional o mundial, la demanda de recursos de la Tierra

de los países iba en rápido aumento. Ello requería una ordenación racional de estos recursos, que sólo podía lograrse por medio de la teleobservación.

18. El objetivo del estudio fue familiarizar a los encargados de adoptar las decisiones de los países en desarrollo, y en particular del Sudán, con las posibilidades de la tecnología de satélites para obtener información crítica sobre cultivos, aprovechamiento de la tierra, entornos marino y costero, prospección de minerales, etc., y subrayar la importancia de estos datos en las actividades recientes y futuras. En el estudio se habían puesto de manifiesto la aplicación y utilidad de los datos de teleobservación para distintos recursos naturales y aspectos del medio ambiente, como una forma de facilitar orientación a los encargados de la adopción de políticas, los planificadores, los administradores y los investigadores. El estudio también había revelado la necesidad de utilizar la teleobservación en un país en desarrollo como el Sudán, dado que era un instrumento rápido y práctico para evaluar y vigilar el medio ambiente y los recursos naturales. Los resultados de integrar la teleobservación en el Sudán en la investigación, las aplicaciones y la educación fomentarían el desarrollo de la ciencia y la tecnología en el país. Mediante la teleobservación se había descubierto que en 1997 el 18% de los pastizales de las regiones semiáridas del centro del país se habían transformado en tierras cultivadas, lo que había ocasionado considerable degradación del suelo. En 1985, estudios realizados mediante teleobservación en el Kordofan occidental habían demostrado que ninguna zona ecológica se había desplazado hacia el sur; los límites de las distintas zonas de vegetación parecían ser los mismos que 80 años atrás.

19. El estudio recomendó que la utilidad de la tecnología de teleobservación, potenciada por los SIG, para la planificación y el desarrollo en los países en desarrollo, se debería presentar de manera convincente para que los encargados de adoptar las decisiones apoyaran su utilización. La mayoría de los países en desarrollo carecía de instrumentos de teleobservación. Por ello, en el estudio se recomendó que se les prestara la asistencia necesaria para establecer los sistemas de teleobservación.

5. República Árabe Siria: cartografía del aprovechamiento del suelo y determinación de factores contaminantes en la cuenca ribereña de Al-Awage mediante técnicas de teleobservación

20. El objetivo del estudio fue organizar un reconocimiento ecológico de la cuenca del río Al-Awage (que se considera una de las fuentes de agua más importantes de Damasco) utilizando técnicas de teleobservación y SIG. El estudio se centró en las cuestiones siguientes:

a) Mapas de distribución de la vegetación en escala de 1:100.000, que reflejaran la densidad y distribución de la capa de vegetación natural y cultivada en la región de la cuenca. Los mapas también reflejaron las correlaciones de la presencia de vegetación con el agua fluvial, dividida en tres combinaciones diferentes;

b) Mapas del aprovechamiento de la tierra en escala de 1:100.000 que hicieron posible determinar los factores contaminantes y de otro tipo que afectarían a la cuenca del Al-Awage en general.

21. Sobre la base de los resultados del estudio se presentaron algunas recomendaciones y propuestas para el control de la contaminación y proteger la salud del ser humano y el medio ambiente en la cuenca de Damasco.

6. República Árabe Siria: la teleobservación aplicada a los recursos agrarios y el aprovechamiento de la tierra

22. Se señaló que las técnicas de teleobservación tenían gran importancia en los estudios agrarios y la ordenación de los recursos de la tierra. En este ámbito, la fotografía aérea y las imágenes espaciales, que se registraron mediante sensores electrónicos o radar, eran los instrumentos que podían utilizarse para determinar, vigilar, evaluar y representar cartográficamente los recursos agrarios y del suelo. Algunas de estas actividades fueron realizadas en la República Árabe Siria por la GORS. Se realizaron los siguientes estudios monográficos:

a) Representación cartográfica del aprovechamiento de la tierra en las regiones occidentales y meridionales del país;

- b) Representación cartográfica de la capa de tierra;
- c) Estudio del suelo y clasificación de la tierra en la región occidental;
- d) Vigilancia de la degradación de la tierra en zonas determinadas;
- e) Evaluación de los recursos de tierras en la región nororiental;
- f) Vigilancia y evaluación de los pastizales de las praderas del país;
- g) Representación cartográfica de los bosques de las montañas costeras del país.

23. Los estudios habían demostrado que la teleobservación era un instrumento valioso en estas aplicaciones y que su integración con los SIG era indispensable para establecer bases de datos destinadas a la ordenación de los recursos agrarios y del suelo.

B. Teleobservación y SIG: análisis de datos y procesamiento de imágenes

1. Procesamiento digital de imágenes

24. El procesamiento digital de imágenes exigió la manipulación e interpretación de imágenes digitales procedentes de datos de teleobservación. En 1972 los Estados Unidos de América lanzaron el Landsat 1 y la imagen digital quedó a disposición de todos para las aplicaciones de la teleobservación a las tierras. Existían diversas fuentes de datos de imágenes digitales, desde los sistemas de satélites comerciales de observación de la Tierra, pasando por los satélites meteorológicos y los datos de exploración aérea, hasta los datos aéreos de cámaras digitales. Todas estas formas de datos pudieron tratarse y analizarse utilizando técnicas basadas en programas informáticos para el procesamiento digital de imágenes.

25. El procesamiento digital de imágenes entrañó con frecuencia procedimientos que resultaron matemáticamente complejos. Sin embargo, el objetivo de la exposición fue presentar los principios básicos del procesamiento digital de imágenes. Esta actividad incluyó lo siguiente:

- a) Introducción/recuperación de datos de teleobservación;

- b) Corrección radiométrica;
- c) Corrección geométrica;
- d) Mejoramiento de la imagen;
- e) Clasificación de la imagen; y
- f) Producción de mapas en programas informáticos (salida de impresión).

2. Utilización de la teleobservación y del SIG para la ordenación de los recursos naturales

26. Se señaló que el rápido avance de la tecnología de la teleobservación había convertido a los datos espaciales en un recurso muy preciso y moderno que había hecho posible la preparación de representaciones cartográficas y mapas temáticos semidetallados. También había permitido aplicar con gran precisión distintos métodos de procesamiento y clasificación digitales.

27. Como la tecnología de los SIG se basaba en la integración y en un enfoque en varios niveles —especialmente ciencias informáticas, matemáticas, planificación y ciencias de la Tierra—, la teleobservación se había convertido en fuente importante de información que resultaba indispensable para el establecimiento de bases de datos. Por ello, la teleobservación se había convertido en piedra angular de las aplicaciones de los SIG y de la tecnología de la información.

28. El SIG, que se basaba en la utilización de computadoras y programas informáticos aplicados, se consideraba en la actualidad la nueva tecnología para el establecimiento de bases de datos. Éstas consistían en distintos mapas temáticos con resolución espacial y parámetros físicos atribuidos diversos. Sobre la base del tratamiento y el análisis de estas bases de datos se consiguieron soluciones y opciones utilizadas en la planificación y elaboración de modelos para la ordenación de los recursos naturales.

3. Ordenación de los recursos naturales mediante el enfoque geomático

29. En esta exposición del tema se presentó una reseña del enfoque de la ordenación de los recursos naturales basado en el procesamiento de imágenes y el análisis de datos, mediante estudios monográficos de representaciones cartográficas e inventarios de los recursos forestales y la evaluación de la erosión del suelo.

30. El primer caso se refirió a la utilización de imágenes del Landsat TM para establecer mapas de los recursos forestales. El enfoque adoptado se basó en la interpretación de fotografías para obtener la información requerida. Se utilizaron varias técnicas de procesamiento: corrección geométrica, aumento del contraste y clasificación. Se utilizaron también datos exógenos (mapas y reconocimientos sobre el terreno) para preparar los mapas definitivos.

31. En el segundo proyecto se aplicó una combinación de técnicas de teleobservación y de SIG para elaborar mapas del riesgo de erosión. La presentación se centró en la metodología utilizada para generar mapas temáticos (temperatura, escorrentía, suelo, laderas y exposición, aprovechamiento de la tierra, índice de vegetación) que se integrarían con modelos para el cálculo de la erosión. Se explicó también la función de los SIG en el análisis y la gestión de datos.

4. Elaboración de modelos de mezcla lineal para la representación cartográfica de la vegetación en las tierras de secano

32. La representación cartográfica de la capa de vegetación en las tierras de secano planteó un problema debido a la gran contribución del suelo a las propiedades espectrales de fondo de cada *pixel* (elemento de imagen digital) debido a la baja densidad de tal vegetación. Los *pixels* mixtos eran muy comunes en este entorno, dado que la capa de vegetación rara vez llegó al 100%, lo que convertía a la mayoría de los *pixels* en una mezcla de vegetación, sedimentos finos (suelos) y piedras. En consecuencia, los *pixels* mixtos eran la causa principal de los errores de clasificación en las tierras de secano, puesto que en las técnicas de clasificación de imágenes se dio por sentado que los *pixels* son puros. Por desgracia, no era así en el caso de las tierras de secano, en que las clases de la capa de tierra eran continuas y no aisladas. Además, muchas clases que se definían comúnmente como “urbanas” o de “roca desnuda” eran con frecuencia espectralmente heterogéneas, porque constituyen un mosaico de numerosos materiales espectralmente diferentes, y los afloramientos rocosos exhibían topografías que daban lugar a variaciones de la iluminación. Como resultado de esta heterogeneidad dentro de una misma clase, las categorías con alto grado de variación daba un grado considerable de clasificación errónea. Además, los enfoques de clasificación no permitían obtener mapas

objetivos de la vegetación, debido a la intervención humana que se necesitaba en procesos muy interactivos como la definición espectral de clases.

33. Resultó evidente que se requería un método para la representación de la vegetación en las zonas de secano en que: a) se utilizara la cantidad máxima de información espectral; b) se tuviera presente que la mayoría de los *pixels* eran mezclas; y c) se neutralizaran los efectos de la atmósfera, así como los problemas de iluminación y de geometría de observación. El modelo de mezcla lineal en el que se utilizaba el concepto de los espectros se ajustaba a todas estas condiciones.

34. En la exposición se examinaron los supuestos básicos de la mezcla lineal y se propuso una solución para la linealidad del problema del mezclado. A continuación, se presentó un informe sobre los resultados de la aplicación del procedimiento a varias imágenes de mapas temáticos para la generación de distintos mapas de la zona de estudio.

5. Evaluación de la clasificación basada en la textura de una imagen obtenida por radar de apertura sintética

35. En la exposición sobre el tema se compararon dos métodos de clasificación. En el primero se utilizó una clasificación mixta basada en información textural y radiométrica y en el segundo se utilizó solamente información radiométrica. El análisis textural se efectuó utilizando la matriz de co-aparición de nivel gris (*gray level co-occurrence matrix* (GLCM)), utilizándose para ello la entropía, la homogeneidad, la correlación, la homogeneidad local, la directividad y la uniformidad.

36. Quedó demostrado que se obtenía una mejora considerable en la precisión de la clasificación utilizando características texturales como aportes suplementarios a la información radiométrica. Sin embargo, ninguno de los dos métodos permitió discriminar entre los objetivos situados en zonas de sombra y las zonas expuestas directamente a la señal de radar. La precisión global de clasificación obtenida mediante el método GLCM fue del 55%, lo cual significó una mejora considerable de la clasificación con la utilización exclusiva de datos radiométricos, que tuvo una precisión del 35%. Los resultados podrían mejorarse eliminando el efecto de macrorrelieve a fin

de aislar el microrrelieve que caracteriza la información textural.

6. Clasificación mixta de una imagen de SPOT-XS utilizando información textural y multiespectral

37. El análisis textural desempeñó una función importante en el procesamiento y la clasificación de las imágenes y en la interpretación de los datos de teleobservación. El enfoque basado en la GLCM constituyó uno de los métodos estadísticos más utilizados en la práctica para medir la información textural de las imágenes.

38. El objetivo del estudio consistió en conjugar información textural y multiespectral para efectuar una clasificación mixta utilizando una imagen de SPOT-XS.

39. Se aplicó un procedimiento cartográfico mixto, basado en un enfoque semiautomático en que se utilizaban procedimientos de clasificación supervisada de la misma imagen de SPOT-XS, al distrito "*Foro Tillich*" de las montañas altas del Atlas oriental, Marruecos.

40. La mezcla de textura de una imagen de SPOT-XS y de las propiedades espectrales de la misma imagen permitieron mejorar las clasificaciones supervisadas, lo cual hizo posible una mejor discriminación de las estructuras y las formaciones geológicas.

41. La combinación de un SIG de mapas basados en datos cartográficos existentes, el modelo de elevación digital y la información obtenida facilitaron el inventario geológico de la zona y permitieron mejorar considerablemente los mapas existentes.

42. La textura de las imágenes de SPOT-XS guardaba una relación directa con la geomorfología y la forma del relieve. De este modo, la superposición del mapa geológico obtenida en el estudio permitió presentar el mapa geológico en ordinograma, lo que hizo posible su visualización en tres dimensiones, lo cual es sumamente útil para los geólogos.

7. Función y recuperación de los parámetros geofísicos en el estudio de los procesos de la superficie terrestre

43. Las actividades antropogénicas habían pasado a ser una fuerza considerable que afectó el funcionamiento del sistema de la Tierra. El clima, los ciclos mundiales de carbono y agua y la estructura de

los ecosistemas naturales estaban estrechamente ligados. Los cambios importantes en cualquiera de estos sistemas afectó a los demás. Por ello, había una necesidad de estudiar y modelizar las interacciones importantes de los procesos biológicos, químicos y físicos que regían los cambios en el sistema de la Tierra y se hallaban más expuestos a la influencia humana. Los conjuntos de datos de satélite brindaron la oportunidad única de recuperar muchos parámetros geofísicos importantes. En el plan de recuperación, la comprensión de los aspectos físicos del problema resultó de importancia primordial. El estudio presentado se refirió a la utilidad de los datos de satélite para calcular el albedo de superficie, la emisividad superficial, la temperatura superficial y los parámetros físicos conexos. Estos parámetros se obtuvieron utilizando diversos métodos. Se habían utilizado algoritmos para calcular el albedo de superficie utilizando concretamente la información de datos de satélite. Se había intentado obtener la emisividad de banda estrecha y de banda ancha. Además, se había estudiado el concepto de índices de vegetación, dado que eran la base para el cálculo de la emisividad de superficie. La medición de esos parámetros facilitó información sobre la temperatura física superficial. La evapotranspiración, componente importante de equilibrios hídricos y equilibrios energéticos, se calculó también utilizando datos obtenidos por satélites. En general, se realizó un esfuerzo para calcular los procesos de la superficie terrestre que, de otro modo, resultaban inaccesibles con las mediciones basadas en Tierra.

C. Aplicación de la teleobservación en la meteorología

Perspectiva general de los sistemas de satélites meteorológicos operativos en órbita geostacionaria y polar

44. Se señaló que en los últimos dos decenios ha estado circundando la Tierra una flota de satélites meteorológicos operativos que han proporcionado un conjunto invaluable de datos en apoyo de la meteorología operativa y de muchas otras disciplinas. Una red internacional de satélites en órbita geostacionaria, ubicada muy por encima del Ecuador, suministró imágenes de latitudes medias y de los trópicos cada media hora, de día y de noche. Los sistemas de satélites ubicados en órbitas inferiores

rodeaban el planeta de un polo a otro cada 100 minutos, observándolo dos veces al día con una gama extraordinaria de potentes sensores.

45. Durante ese período, las aplicaciones de tales satélites habían superado con mucho las expectativas de quienes habían establecido los sistemas hace más de 20 años. Se habían hecho indispensables, no sólo para la meteorología, sino también para la vigilancia del clima y la salud de los océanos, las superficies terrestres y la atmósfera del planeta. La diversidad de aplicaciones era tan vasta que resultaba difícil diferenciar entre las aplicaciones de los satélites. Por ejemplo, pocos hubieran podido imaginar que los satélites de planificación meteorológica medirían con gran precisión la velocidad y dirección de los vientos superficiales en los océanos de todo el planeta o que el mismo satélite podría utilizarse para seguir la migración de las especies silvestres y vigilar el crecimiento de la vegetación. Incluso después de conocer esas posibilidades, el posible usuario tal vez desconociera totalmente qué instrumentos se utilizaban para una determinada finalidad, la forma en que se trataban los datos para obtener la información requerida o qué entidad en el mundo estaba en condiciones de facilitar nueva información.

46. El sistema mundial de satélites meteorológicos operativos comprendía una constelación de por lo menos cinco satélites simétricamente espaciados en torno al Ecuador en órbita geoestacionaria y por lo menos dos satélites en órbita casi polar. Los satélites geoestacionarios se desplazaban a una altura de alrededor de 36.000 km y tenían la capacidad de producir imágenes casi continuas y apoyo de comunicaciones en una vasta región del planeta.

47. Cada satélite podía generar imágenes completas del disco terrestre abarcando casi la cuarta parte de la superficie del planeta, de día y de noche. Los satélites en órbita polar se desplazaban en órbitas mucho más bajas, característicamente de alrededor de 850 km, con el plano orbital en un ángulo de alrededor de 80° respecto del Ecuador. Los satélites en órbita polar estaban concebidos para observar toda la superficie de la Tierra en forma cotidiana. Circundaban la Tierra pasando sobre los polos norte y sur varias veces al día. A medida que el satélite rodeaba el globo, la Tierra parecía rotar bajo la órbita. El satélite recorría diariamente toda la superficie.

D. Fotogrametría digital basada en computadoras personales

48. La introducción de la fotogrametría digital había cambiado por completo el mundo de la fotogrametría. Ya no era necesario utilizar los costosos componentes de equipo físico que previamente se requerían, caso de disponerse de imágenes digitales. Se necesitaba únicamente un dispositivo de exploración si se iban a utilizar las fotografías aéreas tradicionales. Se señaló que la Universidad de Hanover, en colaboración con la Universidad de Düsseldorf, ambas de Alemania, habían elaborado un sistema de programación informática que podía cumplir las funciones siguientes: medición de las coordenadas de imágenes como aporte para el ajuste de las matrices de datos, ajuste de las series de datos, medición de un par estereodigital, generación de modelos de elevación digital (DEM) mediante comparación automática de imágenes, filtrado de elementos no pertenecientes a un DEM, generación de ortofotografías, mosaicos de ortofotografías y procesamiento de DEM. Dicho procesamiento comprendió la computación de líneas de contorno, la representación tridimensional y otros aspectos. Todo este sistema del programa, de utilización sencilla, se basó en computadoras personales. De este modo, todas las actividades de fotogrametría podían realizarse con gran facilidad en las computadoras personales normales.

49. Las fotografías presentaban información sobre los objetos respecto de los cuales obtenían imágenes, pero ésta resultaba inútil sin referencias geométricas. La fotogrametría aportaba la referencia tridimensional para la información sobre el contexto. Durante mucho tiempo había predominado la fotogrametría analógica y analítica y ambas eran técnicas demostradas, pero requerían instrumentos costosos. Incluso las computadoras personales tenían capacidad suficiente para ocuparse de imágenes aéreas o espaciales con plena resolución, de tal modo que las aplicaciones fotogramétricas digitales podían someterse a procesamiento en computadoras personales sencillas. El único componente de equipo físico que se necesitaba para la fotogrametría digital, además de la computadora utilizada, era el dispositivo de exploración de imágenes caso de necesitarse imágenes analógicas. A fin de aprovechar toda la gama de precisión de la fotogrametría, se requerían dispositivos

de exploración fotogramétrica especiales, dado que los dispositivos exploradores de escritorio para publicación se limitaban a una precisión máxima de alrededor de $\pm 50 \mu\text{m}$, incluso cuando la resolución de la fotografía era mayor.

50. La ventaja importante de la fotogrametría digital era la posibilidad de automatización. La comparación de imágenes automáticas no ocupaba tanto tiempo y era mucho más rápida que la medición manual de un modelo de elevación digital.

51. Todas las etapas requeridas, desde la imagen digital hasta el resultado final, se podían realizar en el sistema de programas SIDIP, elaborado por la Universidad de Hanover en colaboración con la Universidad de Düsseldorf.

E. Teleobservación práctica y SIG en la Organización General de Teleobservación (GORS)

52. La GORS se estableció en la República Árabe Siria en febrero de 1986. Ubicada en las afueras de Damasco, cooperaba con órganos de gobierno, países de Asia occidental y órganos internacionales. Realizaba estudios y proyectos sobre aplicaciones de la teleobservación a la geología, la hidrología, la hidrogeología, la agricultura, la planificación urbana, el medio ambiente, la meteorología y la arqueología, utilizando imágenes de Landsat y SPOT. Publicaba periódicamente un atlas espacial de la República Árabe Siria, un glosario de terminología de teleobservación en varios idiomas y revistas sobre teleobservación.

53. Uno de los objetivos principales de la GORS era apoyar el desarrollo sostenible y proteger al mismo tiempo el medio ambiente del país. Ello exigía una ordenación óptima de los recursos naturales, lo que a su vez dependía de la existencia de información fiable y oportuna en los planos nacional y regional. Los datos de teleobservación desempeñaban una función cada vez más importante como fuente de información necesaria para la ordenación sostenible de los recursos naturales y la protección del medio ambiente. Por conducto de los SIG, los datos de teleobservación podían integrarse con los de otras fuentes para facilitar la labor de los administradores de los recursos, los planificadores y los encargados de las políticas y la

adopción de decisiones en la obtención de la información pertinente que se necesitaba. A fin de facilitar la ordenación de esos recursos sostenibles en los países de Asia occidental, la GORS realizó cursos y simposios sobre teleobservación y SIG aplicados a varias disciplinas relativas a los recursos de la Tierra. Como sede del curso práctico, la GORS era una institución de capacitación importante en la región de Asia occidental, en la que se impartió capacitación a los ciudadanos de la República Árabe Siria y de otros países en los últimos dos decenios. La GORS estaba dotada de instalaciones de computación avanzadas, como computadoras personales de última generación y estaciones de trabajo con periféricos y programas informáticos modernos para las actividades de teleobservación y las relativas a las SIG. Además, contaba con laboratorios para la obtención de datos fidedignos de terreno. Los participantes en el curso práctico tuvieron la oportunidad de familiarizarse con el equipo físico y los programas informáticos existentes en la GORS durante las sesiones prácticas dedicadas a la reducción de datos obtenidos por satélite, su procesamiento y análisis y las aplicaciones.

54. En las sesiones prácticas se prestaba atención especial a un estudio reciente sobre la exploración del agua subterránea mediante teleobservación en la República Árabe Siria, realizado conjuntamente por la GORS, Italia y la FAO. Este estudio indicó que la integración en los SIG de los datos obtenidos de satélites de observación de la Tierra con los obtenidos de manera tradicional, unidos a investigaciones determinadas sobre el terreno y al conocimiento geológico de la zona sujeta a investigación, constituía un instrumento importante para la búsqueda de agua subterránea.

Notas

¹ *Informe de la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos*, 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 y corrección (A/54/20 y Corr.1)*, párr. 52.