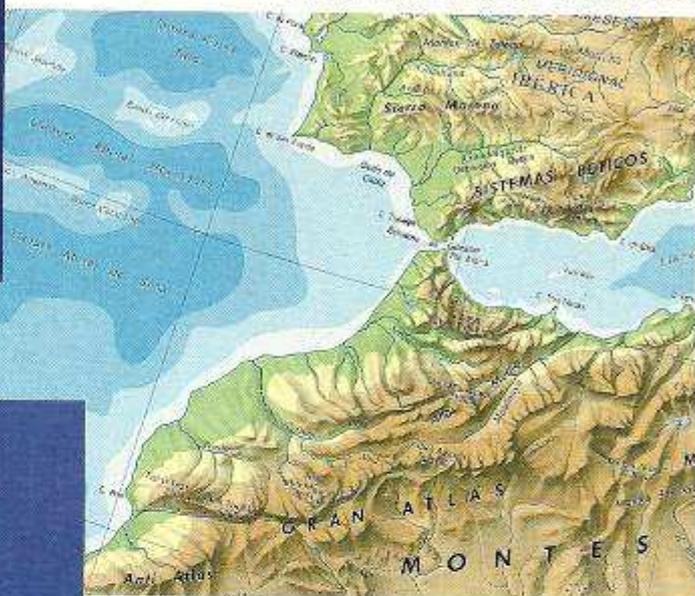


PROYECTO MEDGEOBASE EN MARRUECOS



Publicación Técnica núm. 34

Base de datos geográficos de ocupación
del suelo en el litoral de Marruecos
mediante teledetección



MINISTERIO
DE FOMENTO

DIRECCIÓN GENERAL
DEL INSTITUTO
GEOGRÁFICO
NACIONAL



PROYECTO MEDGEOBASE EN MARRUECOS



BASE DE DATOS GEOGRÁFICOS DE OCUPACIÓN DEL SUELO EN EL LITORAL DE MARRUECOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN

Antonio AROZARENA e Isabel DEL BOSQUE

Instituto Geográfico Nacional

Madrid, 2000

© Instituto Geográfico Nacional

I.S.S.N.: 0213-4454
Depósito legal: M-10.091-2001
N.I.P.O.: 162-01-011-9

Impreso en los Talleres del Instituto Geográfico Nacional

- Título de la obra:

Proyecto Medgeobase en Marruecos.

- Basada en el proyecto liderado por el Instituto Geográfico Nacional de España y realizado por el grupo europeo "EUROMED.GEIE", formado por los siguientes miembros:

- IGN / CNIG de España
- CNIG de Portugal
- IGNFI de Francia
- Nuova Telespazio de Italia

y en colaboración con "l'Observatoire National de l'Environnement" de Marruecos (ONEM)

- Proyecto financiado por:

- Dirección General XI de la U.E.
- Naciones Unidas
- IGN / CNIG de España
- ONEM



- Director del Proyecto:

Antonio Arozarena Villar

- Coordinadores técnicos:

Isabel Del Bosque González
Guillermo Villa Alcázar

© Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)

- Autores de la obra:

Antonio Arozarena e Isabel Del Bosque

- Edita:

Centro Nacional de Información Geográfica
C/ General Ibáñez de Ibero, 3
28003 Madrid.

- Imprime:

Instituto Geográfico Nacional

- Diseño, maquetación y fotomecánica:

INDRA ESPACIO S.A.
Mar Egeo 4, Pol. Ind. nº 1
28850 San Fernando de Henares (Madrid).



ÍNDICE

PRÓLOGO DEL DIRECTOR GENERAL DEL IGN	vii
PRÓLOGO DEL DIRECTOR DEL PROYECTO.....	ix
1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.- El Medio Ambiente en nuestra sociedad	3
1.2.- Las posturas estratégicas en Medio Ambiente	7
1.3.- Descripción del proyecto MEDGEOBASE – Marruecos	12
2.- INTRODUCCIÓN A LA TELEDETECCIÓN ESPACIAL Y A LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	17
2.1.- Principios de teledetección espacial	19
2.2.- Los satélites de observación de la Tierra: LANDSAT y SPOT	23
2.3.- Nuevos satélites: IRS-1C e IKONOS	27
2.4.- Tratamiento digital de las imágenes de satélite	29
2.5.- Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica	32
3.- BASE DE DATOS GEOGRÁFICOS SOBRE LA OCUPACIÓN DEL SUELO EN EL LITORAL DE MARRUECOS	39
3.1.- Marco físico del área de estudio	41
3.1.1.- Clima	41
3.1.2.- Relieve	42
3.1.3.- Agricultura	44
3.2.- Descripción técnica del proyecto cartográfico	45
3.2.1.- La cartografía temática de ocupación del suelo	45
3.2.2.- Principios de base	45
3.2.3.- La metodología	46
3.2.3.1.- Trabajos preliminares	47
3.2.3.2.- Generación de imágenes de falso color	55
3.2.3.3.- Fotointerpretación y validación	59
3.3.- El Sistema de Información Ambiental de Marruecos	63
3.4.- Productos obtenidos	65
3.5.- Equipo técnico de ejecución del proyecto	66
4.- APLICACIONES POTENCIALES Y CONCLUSIONES	69
4.1.- Potencial temático de MEDGEOBASE	71
4.1.1.- Aplicación de análisis espacial	71
4.1.2.- Aplicación cartográfica	72
4.1.3.- Gestión del territorio, dinámica urbana y periurbana	72
4.1.4.- Evolución de la cubierta forestal	72
4.1.5.- Presión antrópica, deforestación y desertificación	72
4.1.6.- Agricultura intensiva y vigilancia de la calidad de aguas...	73
4.2.- Conclusiones	74
5.- IMÁGENES Y FIGURAS	75
6.- GLOSARIO DE TÉRMINOS	81
7.- BIBLIOGRAFÍA	95

Prólogo del Director General del IGN

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) viene realizando en los últimos años una estrecha cooperación internacional, especialmente, en el ámbito de la Unión Europea, cuenca del Mediterráneo y América Latina, en materias que están relacionadas con nuestras propias actividades, como son la cartografía, geodesia, teledetección, etc.

El proyecto MEDGEOBASE tiene un importante significado bajo el punto de vista técnico, fundamentalmente, en cuanto ha supuesto la utilización de la teledetección como sistema básico de generación del Sistema de Información Geográfico Medioambiental en Marruecos (Observatorio Nacional del Medio Ambiente —ONEM—, Rabat).

En la perspectiva de colaboración internacional hay que resaltar que el IGN, a través del Área de Teledetección de la Subdirección General de Geomática y Teledetección, lideró y realizó en unión de otras instituciones europeas, este proyecto multinacional de gran desarrollo tecnológico. Asimismo, ha tenido gran trascendencia hacia el futuro el propio marco jurídico-administrativo dentro del cual se llevó a cabo el proyecto, el «Grupo Europeo de Interés Económico (GEIE) EUROMED», constituido de forma específica por diversas instituciones europeas de Francia (IGNF Internacional), Portugal (CNIG), Italia (Telespazio) y España (IGN/CNIG), con vistas a incrementar el desarrollo tecnológico y de cooperación entre la Unión Europea y terceros países.

Por todo ello, pensamos que este trabajo era conveniente difundirlo entre la comunidad científica y técnica, para un mayor conocimiento del desarrollo de la teledetección en el Instituto Geográfico dentro del marco de cooperación internacional.

Madrid, noviembre de 2000

JOSÉ ANTONIO CANAS TORRES
Director General del Instituto Geográfico Nacional

Prólogo del Director del Proyecto

Dentro del proyecto MEDGEOBASE en Marruecos, el Área de Teledetección del Instituto Geográfico Nacional (IGN), ofrece a todos los posibles usuarios en materia de ocupación del suelo, obtenida mediante técnicas de tratamiento digital de imágenes y teledetección, este texto resumen de las actividades desarrolladas relacionadas con dichos temas.

El proyecto, consistente en la generación de un Sistema básico de Información Geográfica (SIG), está dirigido, dentro del mismo, a la captura de información de la ocupación del territorio mediante técnicas conjuntas de tratamiento vectorial y ráster (así como las necesarias conversiones entre ellos). Para ello se utilizaron, fundamentalmente, las imágenes digitales procedentes del satélite Landsat, sensor Thematic Mapper, conjuntamente con cartografía vectorial existente de la zona y vuelos fotogramétricos convencionales.

La descripción de la ocupación del suelo, sus clases y estructura, se ha basado en la nomenclatura CORINE «Land-Cover», lo que propicia una mayor normalización con la base de datos existente en la Unión Europea y su posible integración en estudios regionales del medio ambiente que afecten a la cuenca mediterránea, tanto al norte como al sur de la misma.

Tiene la importancia en su concepción y ejecución la de haber participado en el mismo instituciones y técnicos procedentes de cinco países, dirigidos por el IGN (Área de Teledetección), lo que ha propiciado un mayor enriquecimiento tecnológico, así como de todos los que han participado en el proyecto.

El texto se estructura en una primera parte de introducción, consistente en encuadrar la importancia de la ocupación del suelo en los estudios del medio ambiente, y en donde se revisan las técnicas empleadas de teledetección y SIG. La segunda parte, objeto de la obra, es donde se analiza con detenimiento la descripción técnica del proyecto. Finalmente, se estudian y extraen conclusiones al potencial temático de una base de datos de este tipo, en el estudio estático y dinámico del territorio.

Para terminar, desearía resaltar mi agradecimiento, como director del proyecto, a todas las personas y a las instituciones que han propiciado e impulsado el mismo, sin cuya especial dedicación hubiera sido imposible su realización (IGN Francia Internacional, Telespazio de Italia, CNIG de Portugal, ONEM de Marruecos e IGN/CNIG de España). Muy especialmente mi gratitud y reconocimiento al esfuerzo y colaboración prestado por los ingenieros del IGN, Isabel del Bosque González y Guillermo Villa Alcázar, que desde un primer momento han apoyado su ejecución y no desfallecieron en los momentos más difíciles.

Madrid, noviembre de 2000

ANTONIO AROZAMENA VILLAR
Director del Proyecto MEDGEOBASE

1. INTRODUCCIÓN

1.1. EL MEDIO AMBIENTE EN NUESTRA SOCIEDAD

En la época de las guerras de Troya la tierra de los argivos era pantanosa y sólo podía alimentar a una pequeña población, mientras que la de Micenas era exuberante (y por esa razón Micenas era superior). Pero ahora ocurre lo contrario [...] la tierra de Micenas se ha convertido en [...] seca y árida, en tanto que la de los argivos, antes inhóspita por culpa de las ciénagas, se ha vuelto feraz. Es de suponer que el mismo proceso ocurrido en esa región opere en países enteros y a gran escala¹.

De esta manera contó Aristóteles, en el Libro 1 de su obra **Meteorológica**, la alteración experimentada por la región de Argive (Grecia) durante la Edad del Bronce, desde el 3.000 a. C. hasta el 1.000 a. C. En nuestros días las pruebas arqueológicas están cambiando la opinión sobre el efecto de la agricultura en el suelo en la cuenca mediterránea. Los estudios arqueológicos del paisaje realizados en diferentes lugares del mediterráneo muestran episodios de deforestación y erosión catastrófica de la tierra durante los últimos 8.000 años.

Como vemos, la modificación del entorno por parte del hombre, no es algo nuevo. Desde que descubrió el fuego, aprendió a construir herramientas y dominó la técnica de la agricultura, ha tenido en sus manos la capacidad de alterar el Medio Ambiente. Aunque dicha capacidad era al principio muy pequeña, ha ido aumentando vertiginosamente a medida que ampliaba sus conocimientos y desarrollaba la tecnología, convirtiéndose hoy día en un auténtico peligro que amenaza su propia existencia.

¿Qué entendemos por Medio Ambiente? La serie Documentación Europea, en su primer número de 1984, monográfico sobre la política ambiental de la UE, recoge la definición de este término adoptada por la Comisión Europea:

La combinación de elementos cuyas complejas interrelaciones constituyen el marco, el entorno y las condiciones de vida del individuo y la sociedad, tal como son o tal como se perciben.

Esta definición, claramente antropocéntrica, engloba tanto los sistemas naturales como los sociales y proporciona una idea aproximada de lo que se entiende por Medio Ambiente en el ámbito institucional.

Por regla general, el especialista en cada campo científico tiende a restringir el significado del término a su ámbito de estudio. En ocasiones, ello es consciente y voluntario, por delimitar estrictamente los límites de su trabajo. Otras veces, en cambio, esa restricción se deriva de la inexistencia de una clara e inequívoca definición de Medio Ambiente.

En el glosario de términos propuesto por el CEOTMA² en la "Guía para los Estudios del Medio Físico" se ofrecen unas definiciones de **Medio** y **Ambiente** que permiten concluir una interpretación adecuada para el término Medio Ambiente:

Medio: *Elemento en el que vive o se mueve una persona, animal o cosa.*

Ambiente: *Conjunto de factores bióticos y abióticos que actúan sobre los ecosistemas, determinando su forma y desarrollo.*

Según esto, Medio Ambiente se refiere a aspectos ecológicos o físico-naturales, sociales y económicos indistintamente.

¹ **Meteorologica: Aristotle VII.** Aristóteles (Traducción: H. D. P. Lee). Harvard Univ. Press (1975).

² CEOTMA: Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente.

Otro término que conviene definir es el de **factor ambiental**. Se entiende por tal cualquier elemento constitutivo del medio ambiente. Se conoce también bajo el nombre de **componente ambiental**. Ejemplos de factores o componentes ambientales son: el agua, el aire, la flora, la fauna, la geología, el paisaje, la sociedad, etc. La definición es, sin embargo, un tanto ambigua y, de hecho, ambos términos son aceptados para denominar elementos del medio ambiente, en sentido amplio, como son los ejemplos citados, o en sentido estricto, como aguas superficiales, subterráneas, continentales, marinas, etc. Es obvio que en ambos casos se habla de elementos que forman parte del medio, sin embargo, en el segundo se reduce la extensión del elemento, esto es, se toma una componente más restringida o reducida del mismo.

Los factores o componentes ambientales tienen una serie de cualidades, a veces llamadas **atributos**, que pueden ser expresadas en forma cualitativa o cuantitativa, mediante **indicadores** o parámetros. La variación de esos indicadores expresará el grado de alteración que se ha producido en el medio.

Como vemos, existen numerosas formas de definir el Medio Ambiente y, al abordar este tema, se pone de manifiesto que existen diferentes puntos de vista al respecto. Sin embargo, se puede considerar que existe un acuerdo generalizado con respecto a tres aspectos fundamentales:

- La **calidad** de los factores o componentes ambientales (agua, aire o suelo).
- La **conservación** de estos factores respecto a las diferentes formas de contaminación.
- La **protección** de la naturaleza.

Estos aspectos constituyen la parte fundamental de la actividad medioambiental. Es frecuente, por lo tanto, utilizar este término en un contexto más amplio donde el Medio Ambiente es también, alternativa o simultáneamente:

- El entorno de nuestra vida cotidiana, bien sea natural o artificial (es nuestro entorno o medioambiente).
- Los riesgos no domésticos a los que estamos expuestos y que pueden ser naturales o tecnológicos, locales o globales.
- Los recursos naturales que se utilizan con el objetivo de que estos se conserven en el tiempo.
- El patrimonio natural (también el cultural, que nos ha sido transmitido por las generaciones precedentes y que tenemos el deber de transmitirlo a las generaciones futuras).

El Medio Ambiente no se define sólo como un conjunto de elementos de la naturaleza o de riesgos para el hombre, contiene también un cierto número de objetivos y valores como son:

- La preservación de la biodiversidad y la reproducción a largo plazo de los ecosistemas (dimensión ecológica).
- Asegurar el crecimiento sostenible en la explotación de los recursos (dimensión económica).
- Mejorar la calidad de vida (dimensión social).

- Garantizar la seguridad individual y colectiva contra los riesgos y atentados contra la salud (dimensión sanitaria).

El Medio Ambiente toma un sentido preciso en una escala geográfica bien definida, distinguiéndose cuatro niveles de análisis diferentes:

- El Medio Ambiente local, puede ser una ciudad, un pequeño entorno rural o un ecosistema particular como un lago o un bosque.
- El Medio Ambiente regional, puede ser una cuenca hidrográfica, un macizo montañoso o una región administrativa.
- El Medio Ambiente nacional o transnacional, pueden ser las naciones o grupos de naciones vecinos que tienen problemas transfronterizos comunes, como por ejemplo la lluvia ácida o la contaminación radiactiva.
- El Medio Ambiente global, que se extiende al conjunto de la biosfera.

A cada uno de estos niveles corresponden problemas o modos de funcionamiento sensiblemente diferentes. Así el ruido, los residuos urbanos, los riesgos industriales, la planificación local y los espacios verdes son ejemplos de problemas que tienen una escala local. La gestión del agua, los residuos industriales y los riesgos naturales son ejemplos de problemas a escala regional. La lluvia ácida, los residuos nucleares, las contaminaciones transfronterizas, el control de productos y tecnologías, la gestión del territorio o los parques naturales pertenecen a una escala nacional o continental. Por último la modificación del clima, la contaminación de los océanos, la deforestación y la reducción de la capa de ozono son problemas medioambientales a escala global.

En un contexto marcado por las exigencias medioambientales y la severidad creciente de las normas en materia de agentes contaminantes, las tecnologías específicas claves en la gestión del Medio Ambiente y la capacidad de innovación tecnológica son dos componentes esenciales en la industria. En efecto, el dominio del medioambiente se caracteriza netamente (en materia de gestión de residuos, de contaminación del agua, del aire y del suelo) por soluciones técnicas principalmente curativas.

La existencia de un reglamento cubriendo el conjunto de actividades económicas e imponiendo el respeto a normas cada vez más estrictas, constituye el mayor factor de evolución de las tecnologías específicas de gestión medioambiental.

Las tecnologías de gestión medioambiental pueden ser repartidas en dos grupos, las **tecnologías sectoriales** (agua y aire) y las **tecnologías transversales** (modernización e ingeniería). Se puede destacar un cierto número de características propias de las tecnologías medioambientales y las condiciones en las cuales son susceptibles de desarrollarse.

La mayor parte de los problemas medioambientales poseen una dimensión temporal a largo plazo existiendo, además, un desplazamiento importante entre la emisión de una contaminación y la manifestación de su efecto sobre el Medio Ambiente. Las soluciones tecnológicas elaboradas hoy en día deben a la vez permitir resolver los problemas heredados del pasado (como por ejemplo, la contaminación de suelos) y evitar los daños futuros (sustitución de los CFC³ para proteger la capa de ozono). Poner atención en las actividades del tipo análisis del ciclo de vida, que se encuadran en el estudio de un horizonte más largo y permiten integrar lo más posible problemas medioambientales.

³ Clorofluorocarbonos: gases compuestos por flúor, cloro y carbono que pierden la estabilidad cuando se ven sometidos a las radiaciones ultravioletas en las capas intermedias de la atmósfera, liberándose los átomos de cloro, que atacan a las moléculas de ozono reduciéndolas a oxígeno.

La puesta en marcha de las tecnologías del medioambiente, necesita de considerables inversiones en Investigación y Desarrollo (I+D), sobre todo si se trata del final del ciclo de vida de un producto. Actualmente el reciclado de ciertos materiales, tales como los polímeros, es difícil de realizar en condiciones económicas aceptables, según los costes de recogida, selección, tratamiento de residuos plásticos, y de eliminación de los últimos residuos. En las industrias medianas, el incremento de las restricciones medioambientales y la severidad creciente de las normas son factores que influyen en los desarrollos de las nuevas tecnologías, más útiles y eficaces.

El dominio del Medio Ambiente se caracteriza por la complejidad, por el carácter multidisciplinar de los problemas planteados y por la dificultad de resolver los problemas científicos y tecnológicos que implican. El sector de la energía, ilustra el conflicto que puede oponer diferentes exigencias: de una parte el desarrollo industrial y el medioambiente de otra.

Ante las necesidades energéticas de una población creciente, la sociedad debe elegir entre los combustibles fósiles y la energía nuclear u otras alternativas hasta el momento no suficientemente desarrolladas. La energía nuclear tiene el riesgo de catástrofes repentinas y socialmente es considerada peligrosa. Por el contrario, pasan inadvertidos los riesgos que conlleva el uso continuado y creciente de combustibles fósiles. Aparte del agotamiento de recursos no renovables, presenta la amenaza de cambios lentos del clima y del ambiente.

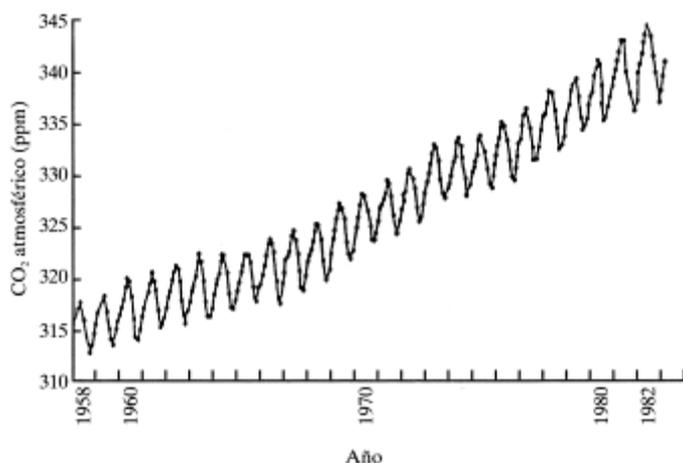


Figura 1.1: Aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera según las mediciones del observatorio que la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) americana tiene en Mauna Loa (Hawai). (Fuente: R. M. White, "El gran debate sobre el clima" *Investigación y Ciencia*, septiembre 1990.)

El CO₂, producto de la combustión, es emitido a la atmósfera. Con la puesta en marcha del Año Geofísico Internacional en 1957, se realizó un experimento a escala mundial y destinado a registrar la concentración del dióxido de carbono en la atmósfera. Los aparatos de medición se colocaron en el observatorio meteorológico de Mauna Loa, en Hawai, a unos 3300 m de altitud.

Desde ese año, los datos registrados han puesto de manifiesto un incremento sistemático de la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera. Gracias a estas medidas se ha comprobado que la mitad del mismo permanece en ella, mientras que la otra mitad es absorbida por los océanos y por las plantas, que lo utilizan en el proceso de la fotosíntesis. Su concentración en la atmósfera se ha

incrementado a lo largo de este siglo, desde las 290 partes por millón (ppm) medidas en 1880, hasta las 352 ppm medidas en 1989 (figura 1.1). Esto representa un aumento de más del 20 % en el siglo transcurrido.

1.2. LAS POSTURAS ESTRATÉGICAS EN MEDIO AMBIENTE

Los colectivos territoriales constituyen los miembros mayores del Medio Ambiente que condicionan las políticas medioambientales. Sobre todo en lo que respecta al ciclo del agua y los residuos que tienen relación con las intervenciones. En Europa, la evolución de los reglamentos ha reforzado las responsabilidades en este dominio.

En junio de 1991, se celebró en el castillo de Dobris, situado en los alrededores de Praga, la primera conferencia "paneuropea" de Ministros de Medio Ambiente. Como consecuencia de la misma se preparó un informe sobre la situación del medio ambiente en Europa, conocido como "Informe Dobris". Su primera edición fue publicada por la Agencia Europea de Medio Ambiente en el año 1995 y en 1998 el MIMAM⁴ publicó la edición española. El objetivo de este informe era analizar los cambios inducidos por la actividad humana sobre el Medio Ambiente europeo "y sus efectos para ofrecer un panorama completo de la situación del Medio Ambiente en Europa a principios del decenio de 1990, contribuir a un proceso de toma de decisiones idóneo y fomentar la sensibilización pública respecto a los problemas medioambientales".

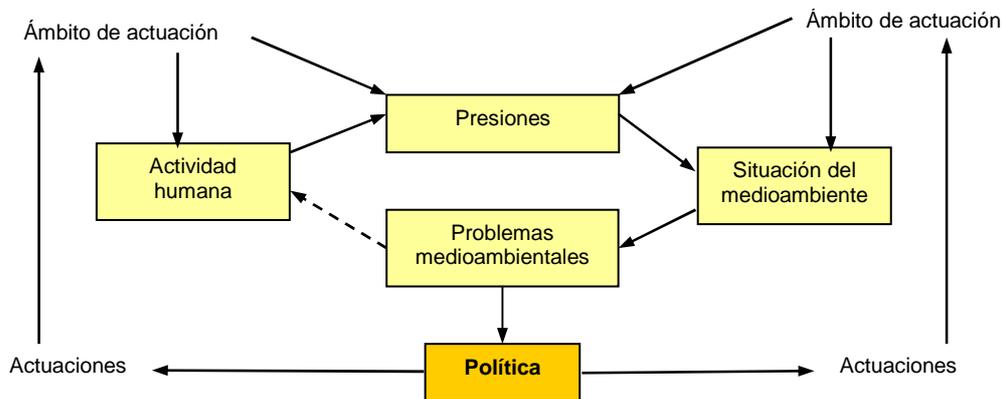


Figura 1.2: Esquema del Informe Dobris

En el ámbito mundial, la Cumbre para la Tierra de Río de Janeiro, celebrada del 3 al 14 de junio de 1992, trató de marcar un antes y un después en nuestra relación con los recursos y los demás seres vivos del planeta, acometiendo la inmensa tarea de realizar un diagnóstico detallado de cada uno de los problemas ambientales con que nos enfrentamos y de tratar de señalar el camino a seguir para resolverlos. Desde la superpoblación a la miseria, de la desaparición de especies y hábitats naturales al cambio climático, de la situación de las poblaciones indígenas al control de los residuos, de la contaminación en todas sus facetas a la sobreexplotación de recursos.

Por el momento, la elaboración de convenios para avanzar en problemas concretos parece la única solución asequible, y de ahí los compromisos adquiridos en Río en cinco cuestiones de importancia: la biodiversidad, la desertificación, el cambio climático, los bosques y los recursos marinos.

El convenio de biodiversidad nació con dos principios muy

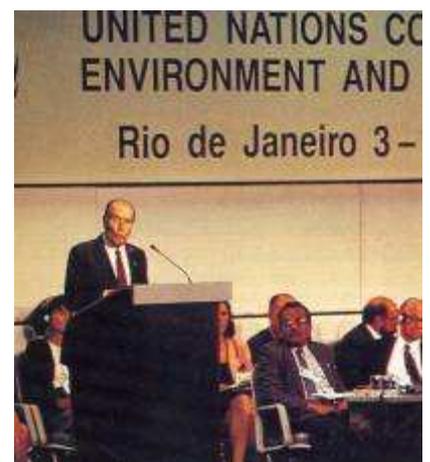


Figura 1.3: Cumbre para la Tierra celebrada en Río de Janeiro del 3 al 14 de junio de 1992. Intervención del entonces presidente francés François Mitterrand.

⁴ Ministerio de Medio Ambiente.

diferentes. Por un lado había que preservar los hábitats naturales que aún subsisten en el planeta, protegiéndolos de la explotación indiscriminada por parte de los propios habitantes de los países en los que se ubican y evitar así la desaparición de especies. Por otro lado, se trataba de conseguir el desarrollo de los países pobres mediante una explotación racional de sus recursos en biodiversidad.

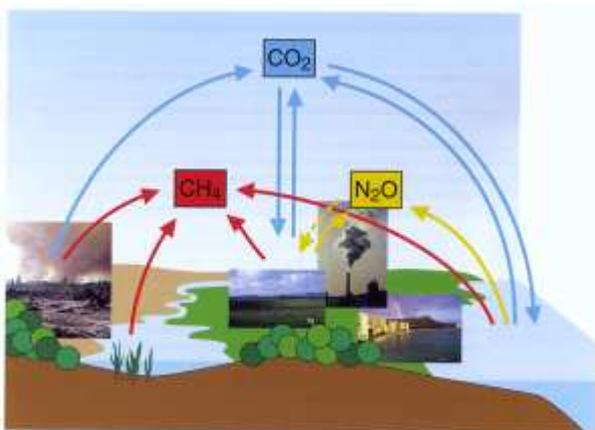


Figura 1.4: Emisiones de gases a la atmósfera producidas tanto por actividades humanas como por procesos naturales y que contribuyen al llamado "efecto invernadero". (Fuente: ESA. *The science and research elements of ESA's living planet programme*. SP1227. 1998).

El convenio de cambio climático está destinado a evitar el incremento del efecto invernadero que podría producirse en nuestro planeta por la acumulación en la atmósfera de determinados gases producidos por las actividades humanas, especialmente el anhídrido carbónico o dióxido de carbono (CO₂) procedente de la combustión de sustancias orgánicas (madera, carbón, gas, petróleo, etc.). Aunque todavía no hay acuerdo claro de la comunidad científica sobre el tema, numerosos investigadores han elaborado modelos que predicen un incremento de varios grados en la temperatura del planeta a corto plazo y alteraciones regionales de los parámetros climáticos, con graves repercusiones económicas y humanas. Además de producir un aumento del nivel del mar que inundaría amplias zonas costeras, se apunta un fuerte incremento de las sequías en las zonas meridionales de los climas templados, lo que incluye la franja litoral de Marruecos.

De las restantes resoluciones específicas adoptadas en Río, la que más ha avanzado ha sido la de desertificación que, en nuestro ámbito mediterráneo, afecta tanto a nuestro país como a los países del norte de África. La desertificación es el proceso de degradación de suelos que incrementa la aridez de un territorio e impide el crecimiento de la vegetación, muchas veces como consecuencia de las actividades humanas.



Figura 1.5: La deforestación es una de las principales causas de la desertificación en los países del entorno mediterráneo, especialmente en el sur.

La deforestación, ya sea por tallas para consumo de la madera o por incendios forestales, es el origen del proceso, contribuyendo a él también algunas prácticas agrícolas. La cubierta orgánico-mineral (suelo) se queda desnuda, desprovista de la protección de la cubierta vegetal y a merced de la erosión. Millones de toneladas de suelo se pierden cada año, convirtiendo en estériles enormes extensiones de territorio. Casi un centenar de países se ven afectados por este problema en todo el mundo, entre ellos Marruecos. Los procesos de degradación del suelo, con diferentes niveles de gravedad, afectan al 70 % de los suelos agrícolas de secano de todo el mundo. Las graves sequías que se sufren en el área mediterránea agravan aún más los problemas.

En general, los principios que se aplican en la gestión del medioambiente de un territorio residen, en su mayor parte, en la dimensión económica de la utilización de los recursos e incita a una gran solidaridad entre los ciudadanos. Es una nueva gestión en la búsqueda de soluciones técnicas, económicas y sociales adaptadas a la diversidad de situaciones y culturas.

Las opciones de desarrollo se consideran en el ámbito internacional y comunitario. En este sentido, la experiencia adoptada en la *Agenda XXI* de la reunión de Río, inspiró "la opción de las ciudades europeas" firmada por un centenar de responsables locales y otro centenar de organizaciones no gubernamentales procedentes de 32 países participantes en la Conferencia de Aalborg (Dinamarca) en 1995.

Con respecto a las soluciones tecnológicas adaptadas a la gestión medioambiental, hay que decir que ésta pasa por un mejor conocimiento del espacio y de sus elementos característicos así como una gran comprensión de sus interacciones.

Los elementos anteriores incluyen, a título de ejemplo, los elementos morfológicos que estructuran el paisaje (relieve, hidrografía), la composición física y química del suelo y del subsuelo, la naturaleza, densidad y dinámica de las esencias biológicas presentes, la utilización pasada y presente de las tierras por los hombres, la ocupación del suelo, etc.

Parece poco realista la realización de un inventario exhaustivo del Medio Ambiente, por lo numeroso y complejo de las interacciones entre sus elementos. Su importancia respectiva y la fiabilidad de su medida presentan un aspecto relativo que varía considerablemente en función del usuario y del tipo de análisis hecho por el seguimiento.

De esta manera, mientras que un técnico encargado, por ejemplo, de apreciar el impacto ecológico de una nueva presa sobre una provincia buscará localizar de forma precisa los pueblos, el curso del agua y los elementos característicos del relieve, un investigador preocupado por modelar las variaciones anuales de temperatura a escala nacional descuidará estos aspectos para centrarse en las propiedades térmicas de las grandes parcelas del terreno.

Los dos ejemplos anteriores ilustran al menos la necesidad de conservar toda la información disponible sobre un tema dado en una referencia espacial. Por medio de la **georreferenciación**⁵, estos datos adquieren la facultad de ser representados, comparados, o correlacionados geográficamente y servir de soporte al análisis medioambiental.

Una base de datos sobre la **ocupación del suelo** es necesaria como una referencia espacial que debe ser compatible con las necesidades de los principales responsables en materia de gestión de recursos naturales. La experiencia de los países europeos demuestra que una escala 1:100.000 se adapta perfectamente a estas necesidades, tanto por el número de clases de información que esta escala puede contener como por la precisión de su localización (precisión de unas decenas de metros). Esta referencia espacial permite asociar entidades geográficas de datos temáticos externos, que servirán de soporte eficaz en el análisis y diagnóstico medioambiental.

La ocupación del suelo consiste por definición en una partición del territorio en parcelas homogéneas caracterizadas por la naturaleza de los elementos de su superficie (tipo de cubierta vegetal, extensiones de agua naturales o artificiales, naturaleza de las edificaciones) y también según el uso por el hombre (fines agrícolas, industriales, residenciales recreativos). La calidad de esta partición depende ante todo de las técnicas utilizadas y de las informaciones auxiliares de naturaleza diversa que pueden ser recopiladas para apoyar esta repartición.

En este sentido, la ocupación del suelo sintetiza un cierto número de parámetros ambientales que informan según el tipo de análisis a realizar sobre las

⁵ Consiste en dotar a un conjunto de datos de propiedades planimétricas para su ubicación geográfica, con el fin de que dichos datos puedan superponerse a un mapa. Para más información pueden consultarse las secciones 2.4 y 2.5.

propiedades físicas y químicas de los suelos, el potencial económico de una región, o el comportamiento sociocultural de la población. Este potencial analítico es aumentado por la posibilidad de poner al día la ocupación del suelo lo que permitirá a medio plazo un seguimiento cualitativo y cuantitativo de fenómenos de degradación.

La clasificación CORINE⁶ sobre usos del suelo es uno de los inventarios que se adoptaron en el marco del programa CORINE de la UE. Su objetivo era proporcionar a los estados miembros una información fiable de tipo cuantitativo sobre la ocupación del suelo, que fuera coherente y comparable en toda Europa. Las características principales de la información recogida en este inventario son:

- Escala utilizada en los mapas: 1:100.000.
- Nomenclatura: 44 clases agrupadas en tres niveles.
- Tamaño de la mínima unidad representada en los mapas: 25 hectáreas.
- Metodología: "*foto-interpretación, asistida por ordenador, de imágenes procedentes de los satélites de observación de la Tierra, con consulta de datos auxiliares*".
- Digitalización de los resultados cartográficos, así como su integración en el sistema de información ambiental CORINE.

El programa CORINE se inició en junio de 1985, en virtud de una Decisión del Consejo (CE/338/85), como "*un proyecto experimental para la recogida de datos, la coordinación y homogeneización de la información sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales en la Comunidad*".

Tras varios años dirigido por la DGXI (Bruselas), este programa pasó en 1995 a ser responsabilidad de la *Agencia Europea de Medio Ambiente* (EEA), con sede en Copenhague. Dicha Agencia constituyó, en octubre de 1995, el *Centro Temático Europeo "Land Cover"* (ETC/LC), cuyo objetivo es el apoyo técnico a la EEA para la finalización, evolución y mantenimiento (actualización) de las bases de datos sobre materia "Land Cover" en la Unión Europea y países de su entorno, como Marruecos.

El Programa CORINE sirve de marco a una serie de Proyectos diferenciados por el tipo de información medioambiental que recogen. En concreto, la captura de datos de tipo numérico y geográfico para la creación de una base de datos a escala 1:100.000 sobre la cobertura/uso del territorio, y su permanente actualización, es el objetivo principal del Proyecto **CORINE Land Cover** (CLC).

En España, el proyecto CLC se inició en 1987 y finalizó en 1991; ejecutándose bajo la responsabilidad y coordinación del *Instituto Geográfico Nacional*, con el que colaboraron la antigua *Dirección General de Medio Ambiente*, y la de *Territorio y Urbanismo*.

La clave de la importancia de la base CLC radica, por un lado, en la **homogeneidad** de la información que almacena. En efecto, debido al seguimiento por parte de los países de la Unión de una serie de directrices comunes (relativas especialmente a aspectos técnicos), hoy contamos con una información perfectamente comparable entre 15 países, que se ha constituido en una herramienta fundamental para la política medioambiental Europea. Por otro lado, también es clave la validez continua de los datos, asegurada por la intención de afrontar una **actualización** cada cierto periodo de tiempo.

Contar con una base de datos CLC casi permanentemente al día es por tanto un asunto prioritario para la UE y por ello se están apoyando, a través del ETC/LC, diferentes líneas de trabajo con objeto de hacer operativo la tarea de actualización.

⁶ Coordination of Information on the Environment.

La base de datos CORINE puede generar representaciones cartográficas (figura 1.6) o estadísticas de carácter general. Puede también servir como fuente para la elaboración de una información más compleja sobre diversos temas medioambientales, como por ejemplo erosión del suelo, modelización hidrológica o estimación de emisiones de gases en la atmósfera producidas por la vegetación o por actividades humanas. En la actualidad este sistema de información ambiental se aplica en áreas tan diversas como: la gestión de áreas protegidas, la explotación racional de los recursos naturales o la evaluación de impactos ambientales de grandes obras civiles (construcción de carreteras, ferrocarriles, presas, etc.).

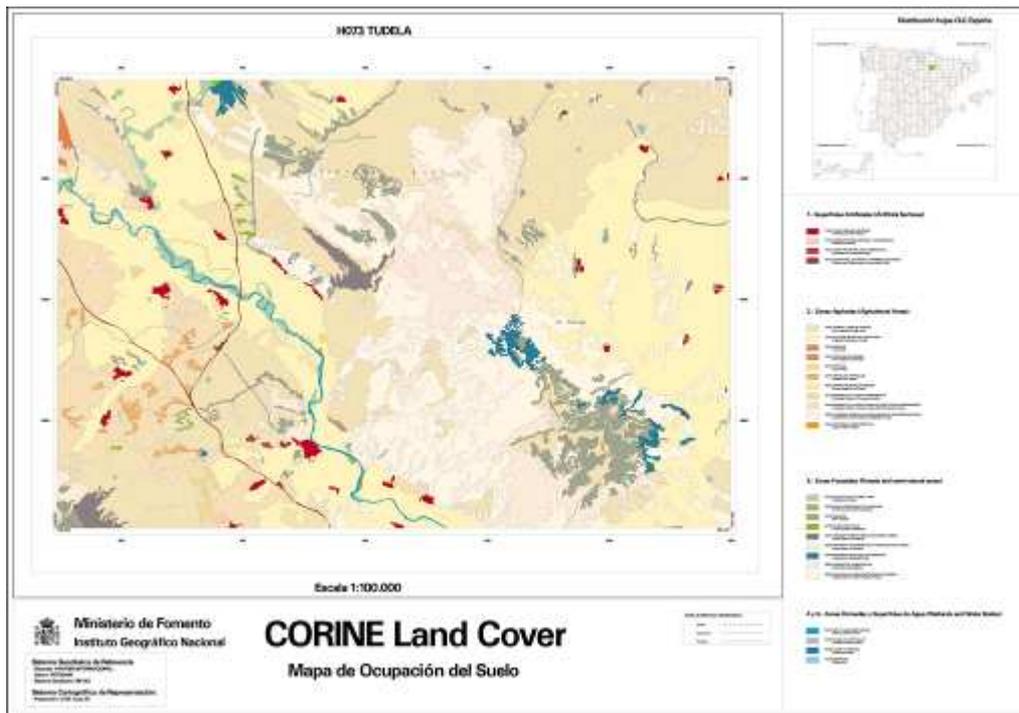


Figura 1.6: Ejemplo de representación cartográfica que se puede generar con la base de datos CORINE de ocupación del suelo, publicadas en España por el Instituto Geográfico Nacional.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO MEDGEOBASE-MARRUECOS



Figura 1.7: El Jadida en la costa atlántica de Marruecos.

El proyecto MEDGEOBASE-Marruecos tiene como objetivo principal la creación de una base de datos geográficos sobre la ocupación del suelo, conforme a las especificaciones del CORINE Land Cover desarrollado por la Unión Europea, destinado a la gestión medioambiental a lo largo de la franja litoral marroquí, entre Tiznit, en el sur, y la frontera de Argelia, abarcando una superficie aproximada de unos 91.700 km²

Otros objetivos del proyecto son la transferencia de tecnología que implica el desarrollo de un proyecto de estas características y la formación de técnicos marroquíes en el empleo de dicha tecnología.

El proyecto se centra, por tanto en el establecimiento de un primer inventario detallado de coberturas y usos del suelo, capaz de asegurar su actualización rápida y económica a partir de datos de observación de la Tierra, que posibilite además la delimitación de zonas particularmente frágiles.



Figura 1.8: Fotografía tomada por los astronautas de la nave Géminis en la que se observa el estrecho de Gibraltar, con la costa norte de Marruecos y la costa sur española.

Hay que resaltar en este punto, la importancia que ha tenido en el desarrollo y aplicación de las técnicas espaciales el "tratamiento digital de imágenes" en la última década, propiciando una respuesta adecuada a los problemas en tiempos realmente cortos, siendo susceptible de ser analizada y comparada con otra información cartográfica existente mediante los llamados "Sistemas de Información Geográfica" (SIG).

El proyecto ha permitido a los responsables de la gestión del medioambiente marroquí tener una información global de los problemas a detectar en este campo. Es una base para la elaboración de una política equilibrada de desarrollo y de protección del entorno natural del país. A medio y largo plazo, desde un punto de vista multitemporal, será también posible realizar un seguimiento de su evolución y tomar medidas concretas para llevar a cabo políticas específicas en materia de medio ambiente. Servirá, asimismo, para suministrar indicadores de comparaciones estadísticas cuantitativas tanto a agencias nacionales, como a instituciones regionales y otras colectividades territoriales.

Se pueden resumir los objetivos técnicos del proyecto en los siguientes cuatro puntos:

- Realización de una base de datos geográfica de cobertura / uso del suelo de la región litoral de Marruecos.
- Utilización de una metodología (CORINE Land Cover) y tecnología (tratamiento digital de imágenes y SIG) adecuadas, de tal manera que se cubran los objetivos cartográficos optimizando los recursos disponibles.
- Debe cubrir las necesidades de información para la evaluación de los recursos naturales de Marruecos con unos objetivos realistas.

- El proyecto debe permitir la integración de la información, en un formato digital, con las bases de datos de los programas de la UE.

La realización de los objetivos propuestos precisa la descripción de un proyecto cartográfico que aporte las soluciones necesarias y la ejecución y el control de todas ellas.

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) y Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) de España, a través del Área de Teledetección de la Subdirección General de Geomática y Teledetección, ha participado como Organismo "Director de Proyecto" en la formación de la Base de Datos Geográfica sobre ocupación del suelo en el litoral marroquí dentro del Grupo Europeo de trabajo EUROMED.GEIE, formado en su momento por los siguientes miembros:

- IGN France Intemational (Francia)
- Telespazio, (Italia)
- Centro Nacional de Informaçao Geográfica, (Portugal)
- Instituto Geográfico Nacional / Centro Nacional de Información Geográfica, (España)

y en colaboración, con el Observatorio Nacional del Medio Ambiente de Marruecos (ONEM).

Este estudio forma parte de un proyecto más amplio denominado MEDGEOBASE englobado dentro de los programas MEDSPA II (Mediterranean Special Programme of Action) de la DG. XI de la Unión Europea y METAP (Mediterranean Environmental Technical Assistant Programme) de Naciones Unidas.



Figura 1.9: Organización de los participantes en el proyecto MEDGEOBASE en Marruecos.

Estos dos programas internacionales han servido para la financiación del Medgeobase de Marruecos cuyo presupuesto total fue de 600.000 Euros repartidos de la forma siguiente:

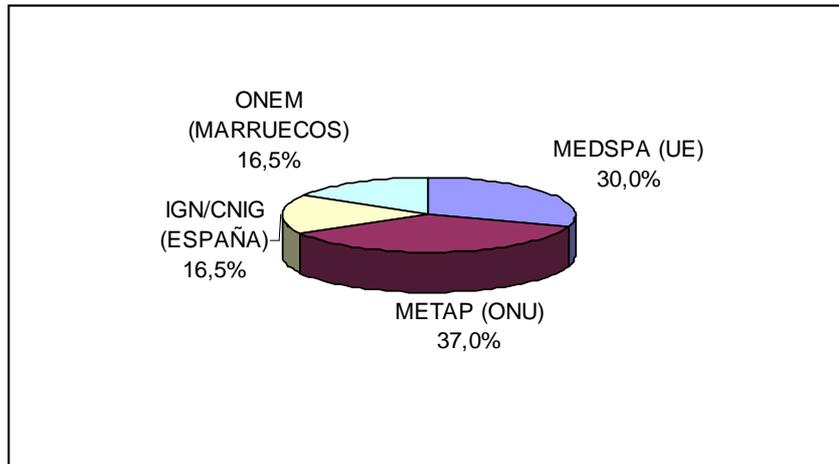


Figura 1.10: Esquema de la financiación del proyecto MEDGEOBASE en Marruecos.



Figura 1.11: Detalle del mapa topográfico a escala 1:100.000, correspondiente a la hoja de Agadir.

Asimismo se contempló dentro del marco del proyecto la formación de técnicos marroquíes por profesionales europeos en disciplinas de fotointerpretación, digitalización y S.I.G. y la instalación de la Base de Datos Geográfica en los equipos informáticos del ONEM en Rabat así como la asistencia técnica para la utilización de dicha Base de Datos.

El plazo de ejecución del proyecto cartográfico fue de un año efectivo, a lo largo del cual se desarrollaron las cuatro fases que se describen a continuación.

Primera fase consistente en los trabajos preliminares. Ésta comprendió el conjunto de operaciones previas al tratamiento digital de las imágenes, así como la obtención, por parte del grupo EUROMED, de la documentación necesaria para la realización del proyecto, a saber,

- Adquisición de las imágenes de satélite: se emplearon 6 escenas completas y 3 cuartos de escena Landsat-TM, con fechas de captura entre los meses de abril/septiembre de los años 1991 a 1994.
- Adquisición de cartografía topográfica de base, a escalas 1:100.000 y 1:50.000 de la zona de estudio (figura 1.11).

- Obtención de cobertura completa de fotografías aéreas.
- Cartografía temática (mapas de vegetación, ocupación del suelo), información estadística, etc.

Segunda fase consistente en el tratamiento digital de las imágenes. Fue el área de Teledetección del IGN español el encargado de realizar los trabajos correspondientes al tratamiento numérico y a la edición cartográfica de la información digital.

- Georreferenciación de las imágenes, adaptándose al Sistema Cartográfico de Representación utilizado para la Cartografía Topográfica Nacional de Marruecos a escala 1:100.000 (ver la sección 3.2.3.2).
- Bandas utilizadas TM4, TM5 y TM3⁷.
- Corrección de las distorsiones geométricas mediante funciones polinómicas de 2º grado y ajuste por mínimos cuadrados, interpolación radiométrica por el método de convolución cúbica, con un tamaño del pixel final de 25 metros (ver la sección 3.2.3.2).
- Realce de bordes mediante filtro de paso alto (ver la sección 3.2.3.2).
- Aumento del contraste, por expansión local de histogramas (ver la sección 3.2.3.2).
- Transformación digital/analógica en película fotográfica de las imágenes que cubren la zona de estudio y ampliaciones fotográficas en papel a escala 1:100.000 y 1:200.000 (ver la sección 3.2.3.2).

Tercera fase consistente en la fotointerpretación de las imágenes.

Aunque el desarrollo del proyecto MEDGEOBASE en Marruecos requirió la participación activa de técnicos marroquíes en sus diferentes fases. Una de las más importantes en cuanto a su participación fue esta tercera fase de fotointerpretación.

A este efecto y según el convenio firmado por EUROMED y el actual Ministerio de Medio Ambiente de Marruecos, expertos europeos del CNIG portugués y Telespazio Italia, coordinados por el IGN de España como Organismo Director del Proyecto mantuvieron, con el equipo de fotointérpretes marroquíes, una asistencia y formación continuada en Rabat.

Este equipo fue el encargado del trabajo de fotointerpretación, realizado sobre imágenes en falso color con apoyo del análisis estereoscópico de fotografías aéreas, información de campo e informaciones auxiliares de mapas topográficos y temáticos.

Para evaluar la calidad del trabajo, fue designado un experto representante del proyecto CORINE de la DG.XI de la U.E. efectuando, a través de varias misiones en Rabat, una verificación de la Fotointerpretación basada en el estudio de fotografía aérea y muestreo aleatorio sobre el terreno.

La cuarta y última fase consistió en la creación de la Base de Datos.

El software ARC/INFO fue el Sistema de Información Geográfica elegido para la generación de la Base de Datos vectorial topológicamente estructurada.

Esta fase del proyecto se realizó en el Instituto Geográfico Nacional, y en ella se distinguieron los procesos que se detallan a continuación.

⁷ Denominación de las bandas correspondientes al sensor Thematic Mapper del satélite Landsat. Para mas información consultar la sección 2.2.

Digitalización:

La introducción de los datos espaciales a partir de las minutas de fotointerpretación con la obtención de ficheros numéricos cartográficos se realizó paralelamente por dos procedimientos:

- Digitalización manual en modo vector, con la utilización de tableros de digitalización y software MICROSTATION PC o ARC/INFO PC.
- Rasterización⁸ automática de las minutas mediante escáner y conversión de datos con programas de vectorización asistida (GEOVEC) en entorno INTERGRAPH.

Generación de la estructura topológica de recintos:

Los objetos topológicos fundamentales del fichero estructurado ARC/INFO son los polígonos.

Cada polígono lleva asociado unas coordenadas espaciales y un valor temático definido por su etiqueta, número de cuatro dígitos que hace referencia a la clase de ocupación y uso de suelo según la nomenclatura aceptada.

Verificación y corrección de los datos:

Las tareas de verificación y corrección de los datos consistieron en:

- Depuración automática de los errores de conectividad de los elementos.
- Identificación de errores de digitalización mediante visualización interactiva del fichero de dibujo. Listado de errores de nodos y etiquetas.
 - Corrección de elementos: conectividad, asignación de códigos, etiquetas, etc., mediante los módulos de edición de ARC/INFO.
 - Ajuste y case con hojas adyacentes y generación del fichero en el formato de intercambio "export ARC/INFO".

En el marco de esta fase del proyecto, tuvo lugar en las dependencias del IGN en Madrid un curso de "digitalización con ARC/INFO" de 44 horas, a técnicos marroquíes del Observatorio Nacional de Medio Ambiente de Rabat, organizado e impartido por personal del Área de Teledetección del Instituto Geográfico.

⁸ La rasterización consiste en la transformación de datos impresos en papel a un formato numérico (digital). Para más detalles ver la sección 2.4.

2. INTRODUCCIÓN A LA TELEDETECCIÓN ESPACIAL Y A LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

1.4. PRINCIPIOS DE TELEDETECCIÓN ESPACIAL⁹

Suele definirse la teledetección espacial, como la tecnología que consiste en la obtención de información acerca de un sistema dinámico terrestre, sin entrar en contacto material con él, mediante sensores localizados en plataformas espaciales (satélites) y el posterior análisis de dicha información por medio de procesado digital e interpretación de imágenes, en el contexto de una determinada aplicación. De esta manera, la teledetección permite obtener información “a distancia” de la superficie terrestre. El intercambio de dicha información entre sistema y sensor se realiza a través de un flujo de energía electromagnética, que puede tener un carácter unidireccional (sistema terrestre \Rightarrow dispositivo), constituyendo lo que se conoce como teledetección pasiva, o bidireccional (dispositivo \Rightarrow sistema terrestre \Rightarrow dispositivo), denominándose entonces teledetección activa.

En el caso de la teledetección pasiva, la fuente primaria de radiación es el Sol. La energía que emite se encuentra distribuida a lo largo del espectro electromagnético. Los sensores trabajan en la región del visible y diversas partes del infrarrojo, incluido el térmico, con longitudes de onda del orden de micrómetros¹⁰. En la atmósfera, previamente a su interacción con la superficie terrestre, esta energía se ve sometida a modificaciones de intensidad y de distribución espectral. Tras la interacción la energía reflejada vuelve a través de la atmósfera siendo, de nuevo, modificada antes de alcanzar el sensor, donde finalmente es captada. La información así obtenida es posteriormente enviada a las estaciones receptoras en Tierra para su procesado posterior.

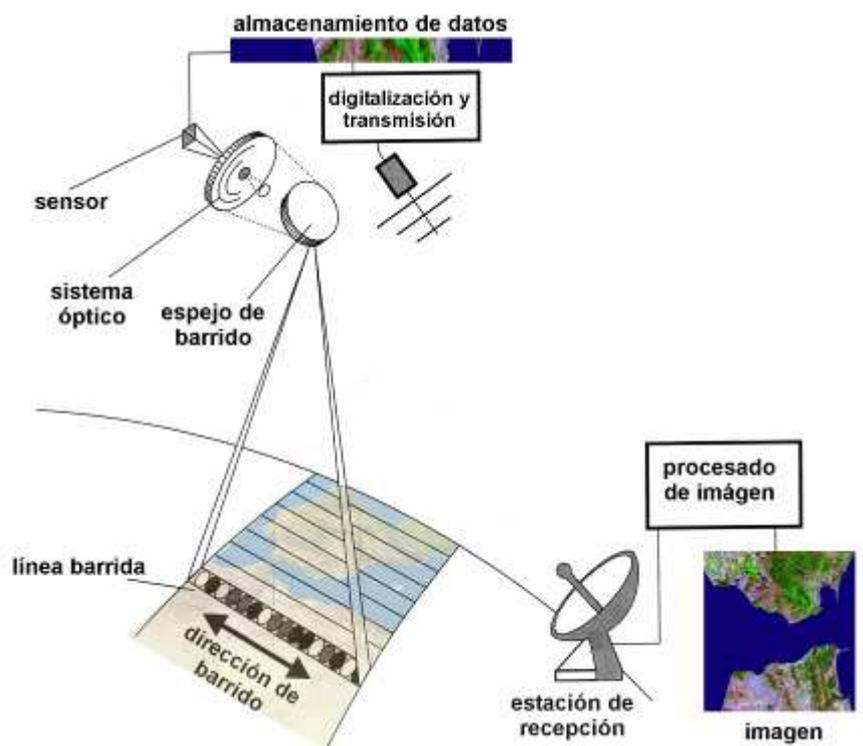


Figura 2.1: Esquema de la tecnología en la que se basa la teledetección espacial

En la teledetección activa, el sistema terrestre que se pretende observar se irradia con una fuente artificial instalada en el propio satélite. Esto supone la independencia respecto de la iluminación externa, por lo que tenemos la posibilidad de controlar la radiación electromagnética emitida (potencia, longitud de onda, polarización, ángulo de iluminación), registrando el sensor la porción de radiación devuelta por la superficie terrestre. Estos sensores activos trabajan en la región del espectro correspondiente a las microondas. Esta es la forma habitual de funcionamiento de los radares. En este caso, y ésta es su gran ventaja como sistema de observación de la Tierra, la radiación no se ve alterada por la presencia de la

⁹ Para elaborar el texto de las secciones que componen este capítulo, los autores han utilizado los apuntes del curso **Teledetección aplicada a las Ciencias de la Tierra** impartido por el Departamento de Teledetección de Indra Espacio, en colaboración con el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, en septiembre de 1993. Así como artículos y otro material cedido por dicho departamento.

¹⁰ 1 micrómetro equivale a la milésima parte del milímetro y se abrevia como μm .

atmósfera o lo hace muy débilmente de manera que su funcionamiento es independiente de la cobertura nubosa, pudiendo “ver” a través de las nubes.

En el desarrollo del análisis de los recursos naturales mediante sensores remotos pueden distinguirse tres etapas básicas, en cada una de las cuales se introduce un nuevo nivel de complejidad y de objetividad.

En una primera fase el análisis se redujo a la fotointerpretación de los documentos obtenidos por el sensor. El proceso se realizaba en dos pasos:

- Obtención del documento gráfico (revelado y procesado de una película sensible a unas determinadas longitudes de onda), o visualización de una imagen por procesamiento analógico o digital de las señales de radio enviadas por el sensor.
- Interpretación de este documento por un experto, en base a su capacidad de identificar en el mismo los objetos que estaba acostumbrado a reconocer en la realidad.

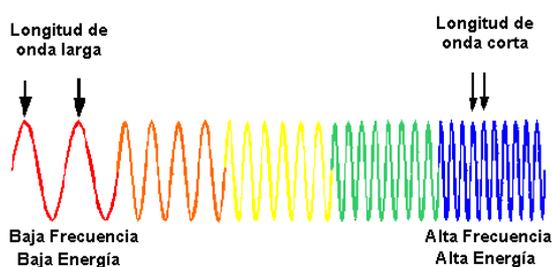
La máxima sofisticación de este procedimiento se produce con la fotografía vertical en pares estereoscópicos que permite no sólo una visión simulada del relieve, sino también efectuar mediciones altimétricas y planimétricas precisas, basadas en el efecto de paralaje.

En una segunda fase se introdujo el procesado digital de datos multiespectrales. Esta etapa se caracterizó básicamente por la aplicación de un gran número de técnicas de mejora de la imagen para facilitar la inspección visual de las mismas y su fotointerpretación, y por la aplicación de los sistemas de clasificación supervisados, basados en el conocimiento previo de la verdad-terreno en determinados puntos. La clasificación, destinada a la obtención de un mapa temático, se basa en la extracción de las características espectrales de aquellos puntos del terreno sobre los que se tiene un conocimiento previo, la elaboración de una serie de clases, definidas por sus características espectrales medias o extremas, y la segmentación del resto de la imagen en base a la identificación estadística de las clases así definidas.

Esta técnica empieza a utilizarse de forma generalizada con la aparición a principios de los años setenta de los primeros satélites LANDSAT¹¹ de observación de la Tierra, y es en la que aún hoy se basan la mayoría de las técnicas de teledetección en sus aplicaciones al estudio del Medio Ambiente.

En una tercera fase, el uso racional de las técnicas de percepción remota implica la capacidad de identificar los distintos elementos de la superficie terrestre, o el estado en el que se encuentran, no sólo por el conocimiento previo de la verdad-terreno, sino a partir del espectro de absorción o emisión de los mismos. Para ello es imprescindible un buen conocimiento de la naturaleza y características del espectro electromagnético, así como de las fuentes de emisión de energía y de las propiedades físicas de los materiales que se pretende identificar.

La luz desempeña un papel fundamental en nuestra existencia. Es un fiel mensajero que nos revela múltiples aspectos de la vida en el planeta que habitamos y su entorno. Nos proporciona información acerca de los obstáculos con los que interacciona cuando encuentra a su paso elementos materiales de muy diversa índole, tamaño y geometría.



Ondas Electromagnéticas

Fig 2.2: Relación entre la longitud de onda, la frecuencia y la energía en las ondas electromagnéticas. El color corresponde a la interpretación que nuestro cerebro realiza de la energía de dichas ondas.

¹¹ Las características de estos satélites se explican en la siguiente sección (ver página 24).

La energía de las ondas electromagnéticas se distribuye de manera continua a lo largo del espectro electromagnético (figura 2.3). Las ondas de las diversas regiones de dicho espectro poseen propiedades semejantes, pero difieren en longitud de onda, frecuencia y, por tanto, en energía (figura 2.2). La luz visible es la radiación electromagnética que podemos ver con nuestros ojos en el intervalo de longitudes de onda que se extiende desde los 0,4 μm a los 0,75 μm aproximadamente.

Aunque el espectro electromagnético sea una distribución continua de energía, desde el punto de vista de su utilidad práctica en teledetección, debido a las limitaciones de los sensores disponibles, es conveniente dividirlo en cuatro zonas:

- Radiaciones de alta energía (longitudes de onda inferiores a los 0,3 μm) emitidas por los objetos de la superficie terrestre en cantidades muy pequeñas. Corresponde a las radiaciones ultravioleta y rayos X y gamma.

- Radiaciones emitidas por el Sol y reflejadas por la superficie de la Tierra entre 0,3 μm y 3 μm (comprende las radiaciones visibles e infrarrojas). De hecho corresponde al tipo de radiación utilizada por todos los sistemas de fotografía convencional, satélites de observación de recursos naturales, etc.

- Radiaciones infrarrojas emitidas por la superficie de la Tierra, frecuentemente denominadas infrarrojo térmico (entre 8 y 20 μm). Este tipo de radiaciones son detectadas por los sensores instalados a bordo de los satélites meteorológicos, fundamentalmente, y por algunos de observación de recursos naturales como el Landsat.

- Ondas de baja energía con una longitud de onda del orden de milímetros o centímetros, también conocidas por dominio de las hiperfrecuencias, tanto emitidas por la superficie de la Tierra (por ejemplo los sistemas de radiometría de microondas utilizada en algunos satélites meteorológicos) como emitidas por un sensor activo y reflejadas en la superficie de la Tierra (sistemas de radar tipo SLAR o SAR).

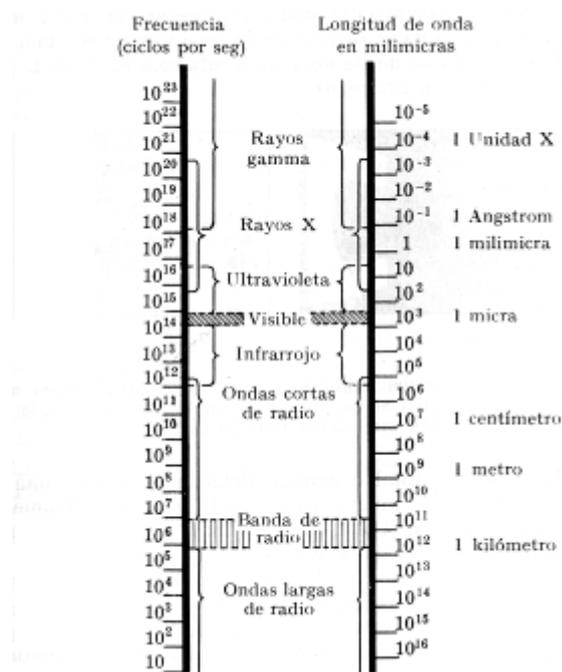


Figura 2.3: Espectro Electromagnético.

Veamos algunos conceptos importantes en teledetección y que están relacionados con la propagación de la radiación electromagnética y su interacción con los objetos terrestres.

El flujo de radiación que, procedente del Sol, incide sobre una porción de la superficie terrestre se denomina técnicamente como **radiancia**. Dicho flujo es en parte reflejado, constituyendo lo que se conoce como el albedo de la superficie, en parte absorbido y en parte transmitido por la porción de superficie en cuestión. En el caso de la teledetección pasiva, la superficie terrestre es considerada opaca y, por tanto, de nula transmisividad, por lo que las fracciones reflejada y absorbida son complementarias. La energía absorbida es posteriormente emitida por la superficie, constituyendo su emisividad.

Mientras que la reflexión se centra en la banda del espectro electromagnético con longitudes de onda comprendidas entre 0,3 μm y 3 μm , la emisión lo hace en la banda del infrarrojo térmico, entre 7 μm y 18 μm (esta banda es utilizada por los

sensores pasivos para determinar la temperatura de la superficie terrestre a partir de su relación con la cuarta potencia de la temperatura, conocida como ley de Stefan-Boltzmann). Es en estos dos fenómenos físicos, la reflexión y la emisión de energía, en los que se fundamentan las medidas de teledetección pasiva.

Los cuerpos reales absorben o emiten diferencialmente ciertas cantidades de energía asociadas a determinadas longitudes de onda. De esta manera, los distintos

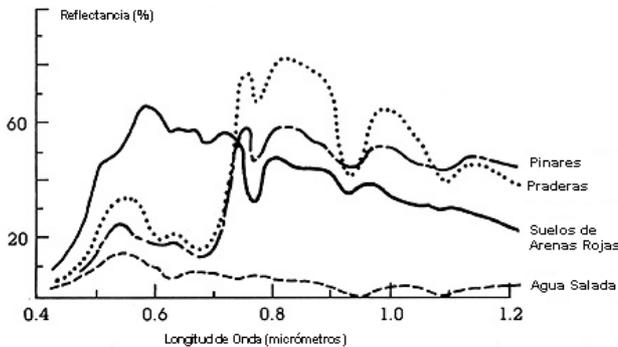


Figura 2.4: Firma espectral de algunas coberturas que pueden observarse sobre la superficie terrestre.

tipos de elementos que se encuentran sobre la superficie terrestre (bosques, suelos cultivados, láminas de agua, suelos con escasa vegetación, nieve, hielo, etc.) pueden distinguirse por la energía que reflejan y emiten. Estos "espectros", que caracterizan el tipo de cubierta observada, constituyen su **firma espectral** (figura 2.4). En la firma espectral de un píxel participan proporcionalmente la energía reflejada por todos los objetos presentes en el campo de observación instantáneo, la energía emitida por esos mismos objetos, la radiación reflejada por las partículas en suspensión en la atmósfera y, según la geometría de observación e iluminación, la radiación reflejada en áreas vecinas pero fuera ya del campo de observación instantáneo correspondiente al píxel en cuestión.

Un correcto análisis de la firma espectral dentro de un área de interés en una imagen de satélite, requiere unas adecuadas correcciones radiométricas, que tengan en cuenta las características del sensor, los efectos atmosféricos y la geometría del terreno. A falta de los modelos adecuados para este tipo de correcciones, suele utilizarse una aproximación empírica basada en la determinación estadística de la firma espectral de áreas de entrenamiento, cuya verdad-terreno se conoce previamente, o de áreas que resaltan a modo de anomalías radiométricas en la imagen y cuya naturaleza desea investigarse.

En la utilización de la firma espectral de áreas de entrenamiento, sin correcciones radiométricas debe tenerse presente que las características obtenidas sólo son extrapolables, y aún con limitaciones, dentro del ámbito de una misma imagen. En otra toma, aunque fuera del mismo sensor y de la misma área, tanto las condiciones atmosféricas como las de iluminación habrán cambiado, con lo que la firma espectral puede haber variado no solo cuantitativamente sino también cualitativamente.

1.5. LOS SATÉLITES DE OBSERVACIÓN DE LA TIERRA: LANDSAT Y SPOT

Hace ya 42 años que se puso en órbita el primer satélite artificial, desde entonces, los satélites han cambiado tanto nuestra concepción del mundo como nuestra relación con él. En la actualidad una gran cantidad de ellos orbitan alrededor de nuestro planeta destinados a diversas aplicaciones, tanto civiles como militares. Entre los usos civiles de los satélites tenemos, por ejemplo, las telecomunicaciones, la localización por satélite y la observación de la Tierra.

Con relación a esta última, aunque ya se venía observando la superficie terrestre desde principios de siglo gracias a la fotografía aérea, es en 1972, año en que fue lanzado el primer ERTS (Earth Resources Technology Satellite), cuando nace la teledetección espacial.

En general, los satélites de observación de la Tierra van equipados con una variedad de instrumentos (sensores) diseñados para registrar los detalles de la superficie terrestre, los océanos y la atmósfera. La gran utilidad práctica de la información adquirida por los diferentes tipos de sensores, instalados a bordo de los satélites, ha hecho de la teledetección espacial un campo de gran actividad tanto a nivel de desarrollo de nuevos sensores como de estudio e investigación de las aplicaciones en campos tan diversos como la ecología y el medioambiente, la agricultura, la geología, la hidrología o la climatología.

El proceso de adquisición de datos se realiza a través de los sensores llamados óptico-electrónicos, instrumentos susceptibles de detectar la radiación que les llega del suelo, en un determinado intervalo de longitud de onda, y transformarla en una señal digital. La energía reflejada o emitida por la superficie terrestre es recogida por el sensor que porta el satélite y digitalizada y codificada como un número entero, conocido como Valor Digital (VD), para que pueda ser manipulada con un ordenador. La precisión de la codificación está ligada al número de bits empleado en este proceso. Lo más común es emplear 8 bits, que implica tener 256 (2^8) niveles de información. Cuando estos valores son visualizados en un monitor, cada uno de ellos es transformado a un nivel de gris, que determina la intensidad de cada punto imagen.

Los sensores pasivos pueden ser de dos tipos: de empuje (push-broom) y de barrido (escáner). En los primeros, una serie de detectores CCD se disponen linealmente, de modo que abarquen simultáneamente todo el campo de visión, discretizando la imagen en celdas denominadas píxeles. Los datos de cada píxel se adquieren al mismo tiempo y las líneas de detectores se van excitando ordenadamente con el movimiento del satélite, de ahí el nombre de sistema de empuje (figura 2.5). Este es el modo de funcionamiento del sensor HRV (Haute Résolution Visible) del satélite

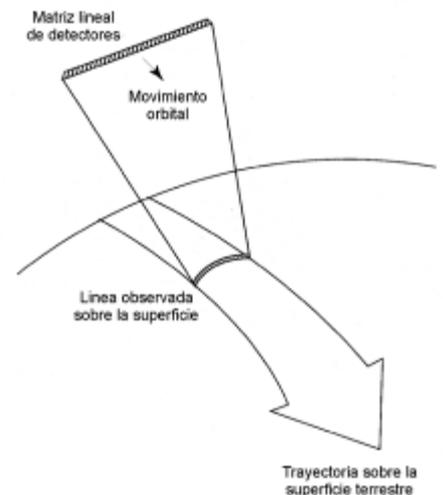


Figura 2.5: Esquema del funcionamiento de los sensores pasivos de empuje.

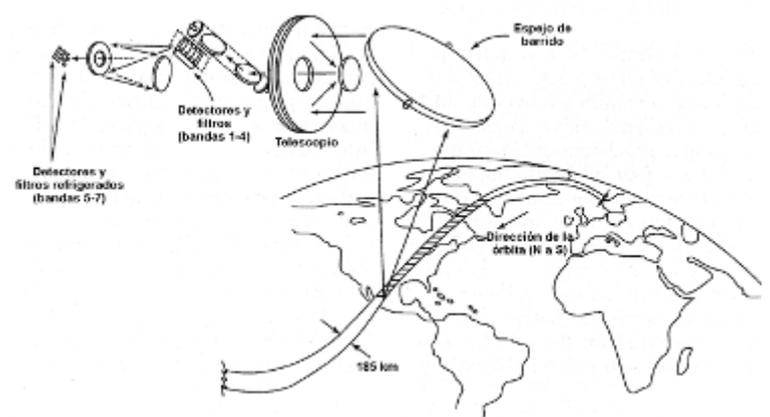


Figura 2.6: Esquema del funcionamiento de los sensores pasivos de barrido. Corresponde al Thematic Mapper del Landsat 5.

SPOT. Los sistemas de barrido o "escáner" exploran la superficie estudiada mediante el barrido de la escena gracias a un espejo basculante cuyo eje de oscilación es paralelo a la trayectoria del satélite portador. En este caso, los píxeles que componen la imagen se adquieren secuencialmente, integrándose posteriormente para constituir la escena (figura 2.6). De este modo funcionan los sensores MSS (Multi-Spectral Scanner) y TM (Thematic Mapper) del LANDSAT-5.

En todos ellos, la radiación recibida, tras ser dirigida por el espejo, atraviesa el sistema óptico que la descompone en varias bandas de longitudes de onda, cada una de las cuales se envía a un tipo de detectores, sensibles a esas energías, donde se transforma en los valores digitales.

Un parámetro fundamental que caracteriza a los diferentes sensores es la **resolución** o, más precisamente su poder de resolución, entendiéndose por tal la capacidad que posee de diferenciar señales que están espacialmente próximas o que son espectralmente similares. La posibilidad de medir variables biofísicas y climáticas en teledetección requiere considerar cuatro tipos de resolución para los sensores: espectral, espacial, temporal y radiométrica. La resolución espectral se refiere al número y anchura de los intervalos de longitud de onda en el espectro electromagnético, denominados bandas, para los que un determinado sensor es sensible. La resolución espacial es una medida de la menor separación angular o lineal entre dos objetos que puede detectar el sensor. Esta distancia corresponde al tamaño del píxel, y depende de la altura a la que se encuentra el satélite, su velocidad y el número de detectores de que consta el sensor. La resolución temporal corresponde a la periodicidad orbital del satélite y define el número de días u horas que transcurren entre dos observaciones consecutivas de la misma porción de la superficie terrestre. Por último, la resolución radiométrica es la capacidad del sensor para detectar variaciones en el flujo de radiación.



Figura 2.7: Satélite Landsat-5

El programa Landsat de observación de la Tierra se puso en marcha en julio de 1972 con el lanzamiento del primero de los satélites. Los tres primeros satélites Landsat tenían forma de mariposa por la disposición de sus paneles solares. Sus dimensiones eran de 3 metros de altura por 1,5 metros de diámetro, que se tornaban en cuatro metros cuando se extendían dichos paneles. El peso total del sistema se aproximaba a los 960 kg. Su órbita era heliosincrónica, polar, ligeramente inclinada ($99,1^\circ$). Con una altura orbital media de 917 km., completaba una vuelta alrededor de la Tierra cada 103 minutos, por lo que realizaba 14 órbitas diarias para volver sobre la misma porción de la superficie terrestre a los 18 días, y a la misma hora local (entre las 9:30 y 10:30 a.m. según latitudes). Estos satélites necesitan estar apuntando permanentemente hacia la Tierra, por lo que exigen una gran estabilidad en su movimiento orbital. Es por ello que estos satélites están dotados de un sistema de estabilización según los tres ejes del espacio, de manera que permanezcan orientados hacia la superficie terrestre. Las correcciones en la órbita se hacían desde estaciones situadas en tierra, lo que confería una gran estabilidad en la toma de datos.

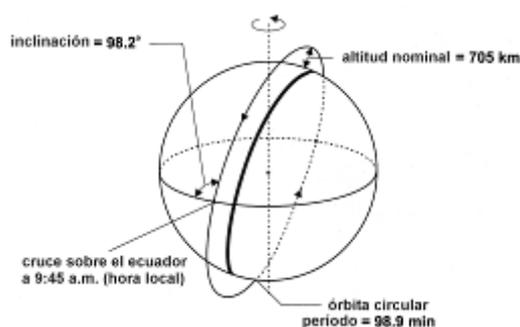


Figura 2.8: Características orbitales del Satélite Landsat-5

Los dos satélites siguientes, el Landsat 4 y 5, vieron modificados tanto su aspecto como sus características orbitales. La altura de vuelo se reduce a 705 km.; aunque se mejora el ciclo temporal de pasada, de 18 a 16 días en nuestras latitudes, gracias a un menor período orbital (98,9 minutos). El momento de adquisición, sin embargo, se mantiene entorno a las 9:45 a.m., hora solar de nuestras latitudes (figura 2.8). El último satélite de la serie puesto en

órbita es el Landsat 7, lanzado el 15 de abril de 1999.

Con relación a los sensores, los primeros Landsat incorporaban un equipo de barrido multiespectral denominado MSS (Multi-Spectral Scanner) y un conjunto de tres cámaras de vídeo (RBV; Return Beam Vidicon). Para los siguientes (el 4 y el 5), se eliminaron las cámaras de vídeo que fueron sustituidas por un nuevo sensor de barrido, denominado TM (Thematic Mapper). Dicho sensor proporciona una mayor resolución espacial y espectral que el anterior MSS, y es el que se utilizó en el estudio de la ocupación del suelo en el litoral marroquí.

El sensor TM¹² es, como ya se ha indicado, un equipo de barrido multiespectral, que emplea una técnica muy similar a la descrita previamente. Sin embargo, las novedades que incorpora permiten considerarlo como perteneciente a una nueva generación de sensores. Frente a su predecesor, el TM aumenta el número de detectores de 24 a 100, a la vez que se reduce el IFOV¹³, se aumentan los niveles de codificación y se realiza el barrido en las dos direcciones. Todo ello le permite mejorar la resolución espacial (30 metros), espectral (7 bandas) y radiométrica (8 bits). En el TM, cada oscilación del espejo supone 16 líneas de barrido, frente a las 6 del MSS, de esta forma se precisan 16 detectores por banda, salvo la banda térmica que registra una menor resolución (120 m.) y sólo requiere cuatro detectores. Este aumento en el número de detectores complica el proceso de calibración, a la par que aumenta el volumen de datos a procesar frente al MSS.

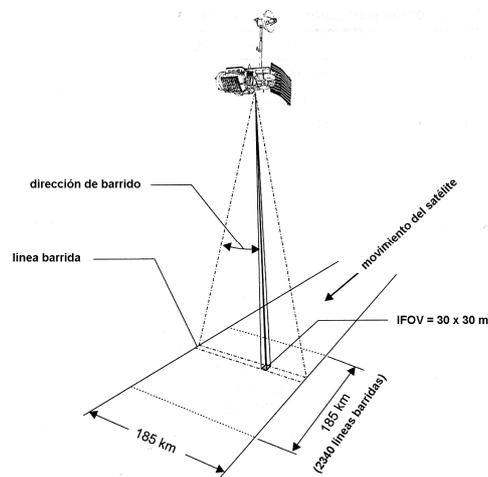


Figura 2.9: Adquisición de imágenes mediante barrido por el Satélite Landsat-5.

Banda	Rango espectral (μm)	Resolución espacial (m)
TM1	0.45 - 0.52	30
TM2	0.52 - 0.60	30
TM3	0.63 - 0.69	30
TM4	0.76 - 0.90	30
TM5	1.55 - 1.75	30
TM7	2.08 - 2.35	30
TM6	10.4 - 12.5	120

Tabla 2.1: Características espectrales de los sensores Landsat

El incremento de la resolución espacial y espectral que ofrece el TM facilita una mayor precisión para la cartografía temática, mientras permite ampliar el rango de aplicaciones operativas a partir de sensores espaciales.

Tal vez su principal problema radica en el coste y en el volumen de datos que ofrece. A modo de referencia, baste indicar que una escena completa del sensor TM septuplica el coste de una adquirida por el MSS (sobre el mismo territorio), mientras el volumen de datos que incluye alcanza los 231 millones de píxeles. Esto ha llevado a comercializar cuartos de escena (100 x 100 km), bandas aisladas o miniescenas (50 x 50 km), aunque en el momento presente, las nuevas tecnologías de almacenamiento masivo estén aliviando el problema.

¹² Las diferentes bandas en que registra el sensor TM del satélite LANDSAT se denotan como TMn, con n = 1, 2, 3, 4, 5, 6 ó 7.

¹³ Instantaneous Field Of View, ver su definición en el Glosario de Términos.



Figura 2.10: Satélite Spot

La serie de satélites SPOT (System Probatoire d'Observation de la Terre) ha sido desarrollada por el CNES francés en colaboración con otros países europeos (figura 2.10). Hasta el momento actual se han puesto en órbita cuatro satélites de esta serie (SPOT-1 en 1986, SPOT-2 en 1990, SPOT-3 en 1993 y SPOT4 en 1998), de los cuales tres están hoy día operativos: SPOT-1, SPOT-2 y SPOT-4.

La principal característica que los distingue de la serie americana LANDSAT, descrita anteriormente, es su capacidad de visión lateral. Esta capacidad aumenta la resolución temporal, pudiendo observar cualquier punto de la superficie terrestre con una periodicidad comprendida entre uno y varios días.

La órbita de los satélites SPOT es circular, situados a una altura de 822 km (algo más de 100 km por encima del Landsat), casi polar (con una inclinación de 98°). Con estas características, la órbita es heliosincrona con un período de revolución de 101 minutos. Este movimiento está sincronizado con la rotación de la tierra de modo que vuelve a observar la misma escena sobre su superficie cada 26 días.

Los tres primeros satélites incorporaban dos sensores de exploración por empuje denominados HRV. Este sensor es sensible al espectro visible y al infrarrojo próximo pudiendo obtener imágenes en dos modos: pancromático (P) y mutiespectral (XS¹⁴).

En el modo pancromático, registra una sola banda en el intervalo de longitudes de onda que van 0,51 μm a 0,73 μm , siendo la resolución espacial de 10 m. El número de píxeles por línea, en la imagen pancromática, es de 6000; completando la imagen con 6000 líneas.

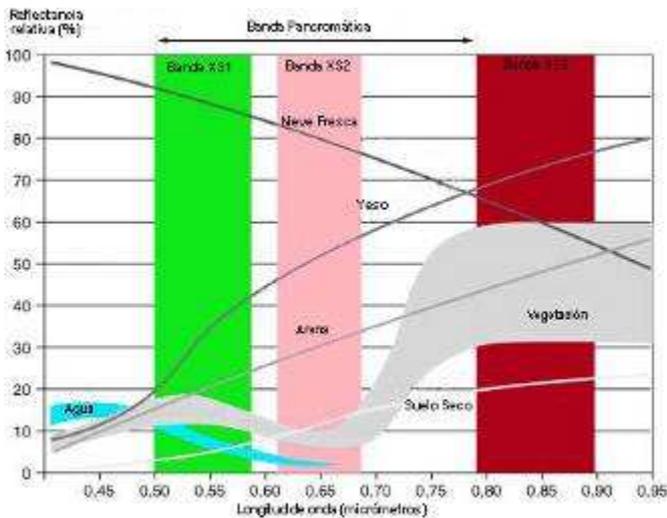


Figura 2.11: Bandas espectrales del sensor HRV de los satélites SPOT

En el modo multiespectral, el sensor descompone la radiancia recibida en tres intervalos de longitudes de onda (XS1: 0,5 a 0,59 μm ; XS2: 0,61 a 0,68 μm y XS3: 0,79 a 0,89 μm) registrando, por tanto, tres imágenes de la misma escena. La resolución espacial en este modo es de 20 m. El número de píxeles por línea, en la imagen multiespectral es de 3000; completando la imagen 3000 líneas.

La longitud, sobre el terreno, de la línea de la imagen en visión vertical es, tanto para el modo P como XS, de 60 km.

El espejo orientable del que va provisto el sensor HRV permite desplazar el eje óptico de observación hasta $\pm 27^\circ$ alrededor de la posición vertical, permitiendo la visión lateral.

Esto hace posible la observación de cualquier punto sobre la superficie terrestre situado en el interior de una franja de terreno de 475 km a cada lado de la traza del satélite. Esta capacidad de visión oblicua del SPOT permite realizar pares

¹⁴ Las diferentes bandas en que registra el sensor HRV del satélite SPOT en modo multiespectral se denotan como XS_n, con n = 1, 2, 3 ó 4.

estereoscópicos, lo que añade a su potencial temático, una clara capacidad en aplicaciones topográficas.

El último satélite de la serie puesto en órbita, el SPOT-4, lleva incorporados dos sensores HRVIR cuya única diferencia con los anteriores es que incorporan una banda más de registro en el modo multiespectral (XS4: 1,58 a 1,75 μm) en el infrarrojo medio. El registro en el modo pancromático se realiza en el intervalo de longitudes de onda comprendidas entre 0,61 y 0,68 μm (correspondiente a la banda XS2, pero con la resolución de 10 m).

El SPOT-4 incorpora también el instrumento VEGETATION. Se trata de un sensor de observación terrestre de gran campo¹⁵. Utiliza las mismas bandas espectrales que el HRVIR (XS2, XS3 y XS4) a las que se añade una cuarta comprendida entre 0,43 y 0,47 μm para las aplicaciones oceanográficas, de vegetación y coberturas del suelo y las correcciones atmosféricas.

1.6. NUEVOS SATÉLITES: IRS-1C E IKONOS

El satélite IRS-1C, cuyas actividades gestiona el Departamento del Espacio del gobierno de la India, es un satélite de teledetección que fue puesto en órbita el 28 de diciembre de 1995.

La órbita del IRS-1C es polar heliosíncrona, con una inclinación de 98,71°, a una altitud de 832 km y un período de 101,23 minutos. El ciclo de paso normal es de 24 días, siendo posible reducirlo a 5 días por las mismas razones que el SPOT.

El satélite lleva incorporados a bordo tres sensores:

- Una cámara pancromática de alta resolución (5,8 m) con un ancho de barrido de 70 km (proporciona escenas de 70 x 70 km). El sensor puede ser orientado lateralmente hasta $\nabla 26^\circ$, de modo que pueda adquirir imágenes estereoscópicas, o para acortar el ciclo de paso por encima de un determinado lugar de 24 a 5 días. Su resolución radiométrica es de 6 bits, equivalente a 64 niveles de gris.
- Un sensor multiespectral, LISS-III, con dos bandas en el visible, una en el infrarrojo próximo y otra en el infrarrojo medio. El ancho de barrido es de 141 km (escenas de 141 x 141 km), con una resolución espacial de 23,5 m para las bandas del visible y el infrarrojo próximo, y 70 m para la del infrarrojo medio. La resolución radiométrica de este sensor es de 7 bits (128 niveles de gris).
- Un sensor "bi-espectral", WiFS, que detecta en dos bandas, a saber, el visible (entre 0,62 y 0,68 μm) y el infrarrojo próximo (entre 0,77 y 0,86 μm). Por ello está pensado especialmente para la obtención de índices de vegetación. Posee una resolución espacial de 188 m proporcionando imágenes que cubren una superficie de 810 x 810 km, y el ciclo de paso de 5 días. Su resolución radiométrica es también de 7 bits.

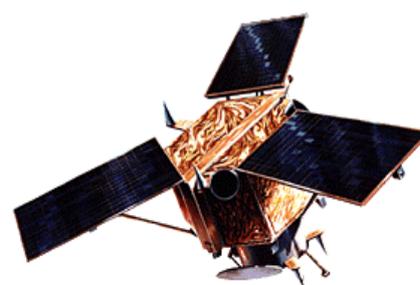


Fig. 2.12. Satélite IKONOS

El satélite IKONOS es el último que ha sido puesto en órbita destinado a la observación de la Tierra, el 24 de septiembre de 1999. La revolución de éste en el campo de la teledetección, y que marcará la tendencia futura en este tipo de satélites, es su resolución espacial. Es capaz de proporcionar *imágenes*

¹⁵ 2000 km vistos con una resolución de 1 km y una alta resolución radiométrica.

pancromáticas (en escala de grises) de una resolución espacial del orden de **1 m**, e *imágenes multispectrales*, abarcando desde el visible al infrarrojo cercano y medio del espectro electromagnético, con una resolución espacial del orden de **4 m**. Ambas con una resolución radiométrica de 2048 niveles de gris (11 bits).

La órbita del IKONOS es polar heliosíncrona, con una inclinación de 98,1°, a una altitud de 681 km y un período de 98 minutos. El ciclo de paso normal es de 3 días.

Banda	Rango espectral (:m)	Resolución espacial (m)
Pancromática	0,45 - 0,90	1
#1 (azul)	0,45 - 0,52	4
#2 (verde)	0,52 - 0,60	4
#3 (rojo)	0,63 - 0,69	4
#4 (infrarrojo próximo)	0,76 - 0,90	4

Tabla 2.II: Características espectrales de los sensores del satélite IKONOS

El ancho de barrido de las imágenes cubre un área de 11 x 11 km.

El sensor instalado a bordo del satélite es una compleja cámara digital de la marca Kodak.



Figura 2.13: Primera imagen pancromática de 1m de resolución adquirida por el satélite IKONOS, primer satélite de Observación de la Tierra de uso civil de muy alta resolución. La imagen, que corresponde a la ciudad de Washington D.C., fue difundida a través de Internet. © *Spaceimaging*. En España, Indra Espacio es uno de los distribuidores de estas imágenes.

1.7. TRATAMIENTO DIGITAL DE LAS IMÁGENES DE SATÉLITE

Como resultado final de la adquisición de datos por parte de un satélite obtenemos una imagen digital. Esto es, una representación de la superficie de la Tierra mediante una matriz numérica, una matriz de puntos regularmente distribuidos formando una malla. Estos puntos tienen una correspondencia entre ellos, en cuanto a vecindad y orden, de tal forma que su distribución viene dada por la secuencia en que han sido adquiridos y, posteriormente, colocados en la malla regular, uno al lado del otro, formando líneas de una determinada longitud (número de puntos). Estas líneas se van a ir colocando secuencialmente una debajo de otra hasta completar el retículo que constituye la imagen digital. A cada punto de la malla se le conoce con el nombre de píxel (abreviatura de "picture element").

Esta representación posibilita que las imágenes puedan ser sometidas a diferentes algoritmos matemáticos, generando nuevas imágenes, donde aparecen reflejados los distintos tipos de información, dependiendo del proceso realizado, pudiendo así destacar ciertas características de la porción de superficie de la Tierra observada.

Cada píxel de la imagen representa una información digital que va codificada generalmente en 8 bits formando un byte (o palabra), pudiendo tomar 2^8 valores diferentes, es decir 256 valores (de 0 a 255). En un monitor se traducen en 256 tonos diferentes del mismo color (por ejemplo en B/N sería toda la gama de grises posible desde el negro, que correspondería al nivel 0, hasta el blanco, que correspondería al nivel 255). La cuantificación del píxel en n bits se conoce como resolución digital.

En el caso de las imágenes adquiridas por los sensores espaciales, el valor del píxel corresponde a la cantidad de energía electromagnética que ha llegado al sensor procedente de la superficie terrestre y que ha sido integrada en el rango de frecuencias para el cual es sensible el detector. Esta cantidad de energía es la que se codifica en 256 niveles (desde la ausencia de radiación, 0, hasta la saturación del mismo, 255). Así la resolución digital se convierte en la resolución radiométrica del sensor.

Entre los tratamientos matemáticos a que puede someterse una imagen digital se encuentran los procesos de *georreferenciación*, de corrección atmosférica, de clasificación y de realces.

El primero es imprescindible para poder superponer a la imagen cualquier información cartográfica auxiliar o para hacer posible un estudio multi-temporal entre dos o más imágenes. Consiste en dotar a la imagen de planimetría para que adquiera las propiedades de un mapa de manera, que podamos medir en ella distancias entre puntos o el área de una superficie. Para ello se establece una transformación matemática entre las coordenadas de un punto localizado en la imagen, un cruce de carreteras o de vías de ferrocarril, por ejemplo, y el mismo punto localizado sobre un mapa.

Con respecto a la corrección atmosférica, la presencia de aerosoles, partículas en suspensión y vapor de agua, dispersa la radiación transmitida entre la superficie de la Tierra y el sensor, fenómeno conocido como **dispersión Rayleigh-Mie**¹⁶. Las correcciones atmosféricas tienden a eliminar en lo posible las alteraciones en el registro de la imagen como consecuencia de dicha dispersión y son bastante complejas, exigiendo la utilización de modelos atmosféricos.

Una vez georreferenciada la imagen y corregidos los efectos atmosféricos, los técnicos disponen de una gran variedad de métodos con los que pueden extraer de

¹⁶ La dispersión de Rayleigh-Mie es responsable del color azul del cielo durante el día y de sus tonos anaranjados durante el atardecer.

ella la información necesaria para una determinada aplicación. Los métodos más simples combinan los datos adquiridos en diferentes bandas espectrales para obtener imágenes coloreadas, como es el caso del falso color. Los métodos más complejos son los destinados a clasificar temáticamente los valores digitales de los píxeles que componen la imagen. Entre los más populares se encuentran los basados en los llamados **índices espectrales**. Éstos consisten en someter las reflectancias obtenidas en diferentes bandas espectrales a una operación algebraica, que combina sumas, restas, multiplicaciones y divisiones entre ellas.

En una imagen multispectral podemos reconocer formas y objetos: ríos, ciudades, carreteras, bosques, regadíos, ..., por simple inspección visual. Pero el ojo humano, en conexión con el cerebro, es un instrumento insustituible a la hora de fotointerpretar una imagen. Nosotros queremos que este reconocimiento de pautas de respuesta sobre la imagen sea realizada de forma automática o semiautomática por un proceso digital, mediante tratamiento apropiado de las imágenes de satélite. Este proceso se conoce con el nombre de **clasificación**.

Entendemos por clasificación el mecanismo que nos permita englobar los píxeles de respuesta espectral homogénea en una sola categoría de fenómeno físico detectado por el sensor, dada la dispersión y abundancia de datos. A esta categoría la llamamos **clase**.

Si la clasificación se basa en información comparada entre imagen y realidad terreno obtendremos una clasificación supervisada, si se basa únicamente en la información contenida en la imagen obtendremos una clasificación no supervisada. Ambos procesos se apoyan en estudios estadísticos de los valores digitales de los píxeles y su pertenencia o no a una clase seleccionada mediante supervisión (comparación con la realidad terreno) o mediante una selección aleatoria del programa clasificador.

La salida de un clasificador es una imagen clasificada donde aparecen las zonas más homogéneas obtenidas desde un análisis multivariante en todas las bandas espectrales en las que tenemos información.

La superposición de esta imagen clasificada con algunos detalles planimétricos nos da una cartografía temática que, dependiendo de las clases elegidas y las bandas seleccionadas nos ofrecen diferentes aplicaciones de la Teledetección en cartografía de usos de suelo, paisajes, ocupación del suelo, etc.

Los valores digitales que constituyen la imagen pueden ser modificados con el objeto de mejorar o resaltar cierta información para un estudio determinado. Estas modificaciones constituyen lo que se conoce como **realce de imágenes digitales**. Gracias a los realces se mejora la visualización de la imagen, eliminando ruidos o resaltando ciertas características geométricas.

La forma más elemental de conocer una imagen digital es a través de su histograma de frecuencias, gracias al cual se definen tanto el contraste¹⁷ como el nivel de gris. Ambos conceptos permitirán *a priori* diseñar un tipo específico de realces.

De forma esquemática y basándose en la forma de tratamiento efectuado en función del número de píxeles afectados, podemos clasificar los realces de la siguiente manera:

- **Realces radiométricos:** Se conocen también como “transformación de histogramas”. Se realizan específicamente sobre 1 píxel, sin tener en cuenta los que le rodean. Por lo general implican un mayor contraste. Los realces radiométricos son de fácil implementación por software,

¹⁷ El contraste en una imagen digital viene definido por el rango entre el máximo y el mínimo del valor digital para cada píxel.

confeccionándose “tablas de consulta” donde se realizan en tiempo real dichas transformaciones.

- **Realces geométricos:** se les suelen llamar simplemente “filtros”, donde la modificación del nivel de gris de un píxel determinado conlleva el estudio o incidencia de los de su entorno. Se suelen emplear principalmente tanto para suavizar o eliminar ruidos en la imagen como para detección de bordes. Este tipo de realces se puede dividir, a su vez, en dos grupos:
 - **Realces geométricos en el “dominio espacial”:** para unos valores de (x,y) (“distancia” del píxel al origen) la función $f(x,y)$ nos representará la intensidad o valor del nivel de gris. Los filtros más empleados en el dominio espacial son: de paso bajo (se emplean para eliminar ruidos), de mediana (se emplea para eliminar ruido aleatorio), de la moda (suaviza los resultados de una clasificación o agrupamiento de píxeles), de paso alto (es el más empleado para detectar bordes), laplacianos (son filtros de detección de bordes en todas direcciones).
 - **Realces geométricos en el “dominio de frecuencias”:** para unos valores (u,v) (“frecuencias”) la función $f(u,v)$ nos representarán “amplitudes”.

1.8. FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

El concepto de Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS según las siglas inglesas) ha ido cambiando a lo largo de su evolución, desde finales de los años 60 hasta nuestros días. El concepto de SIG se ha ido matizando en los últimos años según se desarrollaban sus aplicaciones y el soporte informático, tanto físico como lógico, que lo sustenta.

Durante la década de los 80 se elaboraron definiciones como la de P. Burrough, una de las más citadas y difundidas en el primer manual dedicado a los SIG:

Un SIG es un potente equipo instrumental para la recogida, el almacenamiento, recuperación, transformación y la representación de datos espaciales relativos al mundo real

En la definición dada por el Department of Environment británico, se destacó la necesidad de manipular datos georreferenciados:

Un SIG es un sistema para capturar, almacenar, validar, integrar, manipular, analizar y representar datos referenciados sobre la Tierra

A principios de los 90, el National Center for Geographic Information and Analysis de los Estados Unidos publica la definición más precisa de las elaboradas hasta el momento:

Un SIG es un sistema compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación.

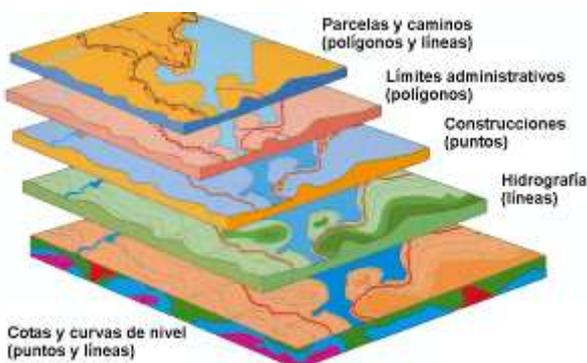


Figura 2.14: Un Sistema de Información Geográfica se puede entender como un conjunto de mapas digitales de la misma porción del territorio

Según esta última definición un SIG es un sistema particular de información digital, especializado en el manejo de datos geográficos. Se puede entender como un conjunto de mapas de la misma porción del territorio, donde un lugar concreto tiene la misma localización en todos los mapas incluidos en el sistema de información, de manera que resulte posible realizar análisis de sus características espaciales y temáticas.

Las áreas de uso práctico de un SIG son muy variadas: desde el inventario de los recursos naturales y humanos hasta el control y la gestión de datos catastrales y de propiedad urbana y rústica, la planificación y la gestión urbana y de los equipamientos, la cartografía y el control de grandes instalaciones (red telefónica, redes de abastecimiento y saneamiento de aguas, redes de transporte, etc.).

Un SIG es, entre otras cosas, un programa de ordenador con unas capacidades específicas que pueden resumirse en las siguientes funciones:

- **Funciones para la entrada de información:** Son los procedimientos que permiten convertir la información geográfica del formato analógico al formato digital que puede manejar el ordenador. Previamente a la entrada de datos en un SIG, la información que se va a utilizar se ha debido reunir y preparar para que sea tratada y convertida al formato digital.
- **Funciones para la salida/representación gráfica y cartográfica de la información:** Se trata de las actividades que sirven para mostrar al usuario los propios datos incorporados en la base de datos del SIG, y los resultados de las operaciones analíticas realizados sobre ellos. Permiten obtener mapas, gráficos y tablas numéricas en diferentes soportes.
- **Funciones de gestión de la información espacial:** Con ellas se extraen de la base de datos, las porciones que interesan en cada momento y es posible reorganizar todos los elementos integrados en ella de diversas maneras.
- **Funciones analíticas:** Facilitan el procesamiento de los datos integrados en el SIG de modo que sea posible obtener mayor información y, por tanto, mayor conocimiento del que inicialmente se disponía. Estas funciones convierten al SIG en una herramienta de simulación, mediante la cual los planificadores territoriales, por ejemplo, pueden obtener una impresión de cuál puede ser el resultado, sobre el territorio, de sus decisiones.

Como hemos visto a lo largo de los apartados anteriores, un Sistema de Información Geográfica es un mecanismo informático que posibilita el manejo de un cierto tipo de información o datos.

Debemos, en primer lugar, distinguir entre estos conceptos. Los datos son la representación concreta de hechos y constituyen el antecedente necesario para el conocimiento de un territorio. Un juego de datos interrelacionados forma una base de datos, de la cual se obtiene la información. Una información que tendrá una finalidad determinada y es fruto de un proceso interpretativo conducido por el usuario.

Con relación a los datos geográficos, poseen cuatro características esenciales: localización, relaciones espaciales, atributos temáticos o descriptivos y temporalidad.

La primera característica, la localización de un objeto geográfico, se conoce en la terminología de los SIG como **georreferenciación**. Es decir, una entidad geográfica se localiza con relación al **geoide** terrestre, que es una representación matemática de la Tierra. Para hacer operativa esta característica es necesario fijar unos procedimientos de representación y de georreferenciación sobre el geoide, como el sistema de coordenadas de referencia y las proyecciones cartográficas. Ésta es la llamada georreferenciación directa y continua, basada en la utilización de una red de coordenadas establecidas a nivel global. Son de este tipo, por ejemplo, las coordenadas UTM de un punto.

Para asegurar una buena representación cartográfica, el desarrollo del proyecto MEDGEOBASE-Marruecos se basó en el sistema de coordenadas



Figura 2.15: Superficies correspondientes al elipsoide y al geoide. La posición relativa del geoide respecto a la del elipsoide se invierte al pasar del océano continente.

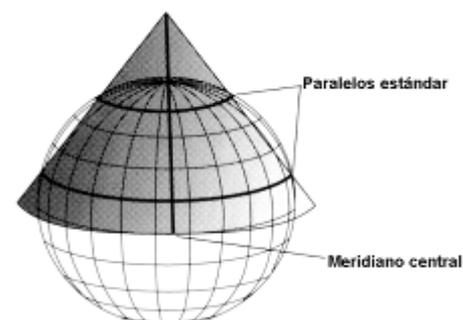


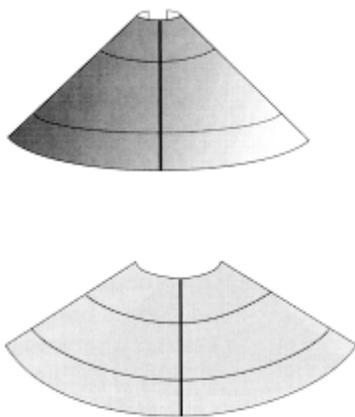
Figura 2.16: Sistema de Proyección Cónica de Lambert, sobre un cono tangente o secante a la Tierra.

geográficas marroquí, datos correspondientes a la cartografía de base. El sistema de proyección cartográfica corresponde a la Cónica Conforme de Lambert. Esta proyección pertenece al grupo de las conforme por conservar los ángulos.

La transformación que convierte las coordenadas de un objeto sobre la superficie tridimensional de la Tierra en las coordenadas bidimensionales de un mapa, es lo que se conoce como proyección.

Esta transformación de una superficie tridimensional curva en otra bidimensional plana produce siempre deformaciones, bien sea de superficies, distancias, ángulos, etc. Es posible definir el tipo y los parámetros de una proyección con el fin de minimizar ciertas deformaciones. Así, por ejemplo, pueden definirse las proyecciones conformes como aquellas que conservan localmente los ángulos.

La posición de un punto sobre la superficie de la Tierra viene dada por sus dos coordenadas latitud y longitud. Pero esto es solo cierto si la superficie fuese plana. Sobre la superficie real necesitamos una coordenada más, que nos dé diferencias de altitud; es decir, que mida distancias a lo largo de la coordenada r. Estas diferencias de altitud se miden a partir de una superficie de referencia.



Se pueden definir dos superficies de referencia (figura 2.14). La primera de ellas, que se supone coincide con el nivel del mar, recibe el nombre de geoide. Esta superficie, si eliminamos todas las masas por encima de ella, representa la forma real de la Tierra. Fuera del mar, la superficie del geoide se prolonga en el interior de los continentes. La segunda de estas superficies, recibe el nombre de elipsoide de referencia. Este elipsoide (esfera aplanada en los polos) es un modelo matemático utilizado para el cálculo y que puede definirse para que sea lo más próximo posible al geoide.

Se puede definir la altitud de un punto como la distancia desde ese punto a una de las superficies de referencia.

Existen bastantes modelos de elipsoides. Para cada sistema de referencia geodésico hay asociado un elipsoide sobre el que se ha fijado un meridiano como origen de longitudes y que está perfectamente definido por dos de los siguientes parámetros: semi-eje mayor (a), semi-eje menor (b), aplanamiento (f) y excentricidad (e).

El elipsoide utilizado en la cartografía marroquí es el de Clarke 1880, cuyos datos son:

$$\begin{aligned} a &= 6378249.2 \\ b &= 6356515.0 \\ 1/f &= 293.466021 \\ e &= 0.08248325645 \end{aligned}$$

Con el objeto de minimizar las deformaciones (alteraciones lineales), Marruecos se ha dividido en dos zonas. Los valores de la tabla siguiente permiten el cálculo de las coordenadas en proyección Lambert del elipsoide de Clarke 1880.

Zona Lambert	I (Norte)	II (Sur)
Latitud origen	33° 18' N	29° 42' N
Longitud origen	6° W = 5° 24' W	6° W = 5° 24' W

Paralelos automecoicos	34° 51' 57.6" N 31° 43' 30" N	31° 16' 30" N 28° 05' 52.8" N
Falso este (X_0)	500.000 m	500.000 m
Falso norte (Y_0)	300.000 m	300.000 m

Tabla 2.III: Parámetros de la Proyección Cónica Conforme de Lambert para las dos zonas de Marruecos.

Con las relaciones espaciales entre los datos geográficos, se determinan sus interrelaciones geométricas. En la terminología de los SIG, se suele hablar de estructuración topológica o construcción de la **topología**. Esta estructuración es necesaria para la correcta depuración de la información cartográfica y para su enlace con los atributos temáticos.

Los atributos temáticos recogen las características descriptivas de los datos geográficos, permitiendo organizarlos en forma de estratos o capas, cada una correspondiente a una variable temática (figura 2.13).

La última característica de los datos es el momento o etapa temporal que representan. Saber el año, la estación climatológica, el mes o el día en que fueron tomados los datos territoriales es importante para muchas aplicaciones.

Para la correcta representación digital de los datos geográficos es imprescindible una abstracción y simplificación de todos los elementos existentes, es decir, crear un modelo de datos de los objetos a representar digitalmente. Aquí, un "modelo de datos" es un conjunto de directrices para la representación lógica de los datos en una base de datos, consistente en los nombres de las unidades lógicas de los datos y de las relaciones entre ellos.

Un modelo es, siempre, una representación simplificada de la realidad. En el caso de los SIG existen dos tipos de modelos de datos geográficos: el **modelo vectorial** y el **modelo ráster** o matricial (figura 2.17). Ambos son válidos para los mapas planos formados por puntos, líneas y polígonos, y cada uno de ellos mejor preparado para llevar a cabo ciertas tareas.

El modelo vectorial representa los objetos espaciales codificando sus fronteras, esto es, el límite o perímetro que separa el objeto del entorno. Las líneas que actúan de fronteras son representadas mediante las coordenadas de los puntos o vértices que delimitan los segmentos rectos que las forman. De este modo, los objetos puntuales (poblaciones, por ejemplo) se representan mediante un par de coordenadas, X e Y, que determinan la posición del objeto. Los lineales (caminos, por ejemplo) se aproximan mediante el trazado de segmentos lineales que se cruzan en vértices y se representan mediante las coordenadas X e Y de esos vértices. Finalmente, los polígonos se codifican aproximando sus fronteras mediante segmentos lineales que se cortan igualmente en vértices.

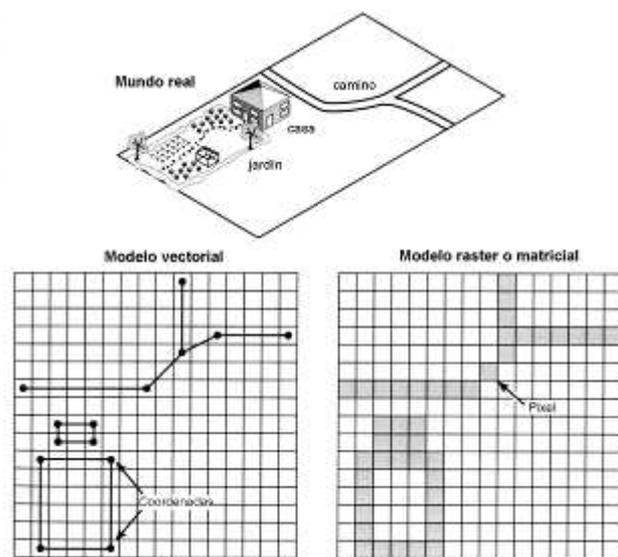


Figura 2.18: Un SIG utiliza dos tipos de modelos para simplificar la realidad: el modelo vectorial y el modelo ráster.

El elemento fundamental de referencia es, por tanto, el segmento lineal. En este sentido, una representación vectorial del espacio es coherente con la cartografía tradicional, en el sentido en que ésta se organiza mediante el trazado de líneas sobre un plano.

Sobre el modelo vectorial general que se ha definido se pueden formular varias estructuras de datos, que son diferentes representaciones del mismo modelo de datos, expresadas en términos de diagramas, listas de valores, etc., elaboradas para registrar la información en el código del ordenador. Las más importantes son: lista de coordenadas, diccionario de vértices y estructura arco/nodo.

En el modelo de datos ráster, en lugar de codificar las fronteras de los objetos, se registra el interior quedando sus límites implícitamente representados. Para realizar este tipo de codificación se superpone al mapa analógico fuente una rejilla de unidades regulares, de igual forma y tamaño, y en cada unidad de la rejilla se registra el valor que el mapa analógico adopta.

La rejilla puede estar formada por uno de los tres tipos de figuras geométricas elementales:

- Triángulos regulares
- Cuadrados/rectángulos
- Hexágonos

Los más utilizados son los cuadrados (figura 2.17). En estos modelos, un dato importante es el tamaño de los mismos, cuanto más pequeños sean más precisa será la representación digital del mapa. La longitud de los lados de la cuadrícula base o píxel nos permite fijar la escala del mapa ráster generado.

La topología está implícita en la regularidad de la rejilla, de esta manera se conoce cuales son los vecinos de una celda o píxel de la rejilla.

Según lo visto anteriormente, la representación vectorial es más adecuada para la realización de gráficos y mapas precisos. Y, sobre todo, está más de acuerdo con la cartografía tradicional. Es más compacta en cuanto al volumen de almacenamiento que necesita y más exhaustiva la información disponible. Sin embargo, estas ventajas se consiguen a partir de una organización de los datos muy compleja.

El modelo ráster tiene una organización muy simple de los datos, que permite realizar con gran facilidad procesos de análisis ya que el mapa puede tratarse matemáticamente como una matriz. Su principal inconveniente es el gran volumen de almacenamiento que requiere, en especial si es necesario disponer de una representación muy precisa, lo que exige disminuir el tamaño del píxel y, en consecuencia, aumentar el número de filas y columnas del mapa.

En un SIG vectorial, junto a la descripción digital de sus características espaciales, los datos geográficos llevan asociados un conjunto de aspectos temáticos.

Existen varias posibilidades para organizar esta doble base de datos (espacial y temática). En unos casos los SIG vectoriales están formados por dos componentes o programas informáticos: uno, el que maneja la base de datos espacial, y el otro, el que explota la temática. Este es el denominado **sistema de organización híbrido**, nombrado así por unir una base de datos relacional, para los aspectos temáticos, con una base de datos topológica, para las espaciales. Por ejemplo, el sistema ARC/INFO tiene un componente, el módulo ARC, que manipula la base de datos espacial de "arcos"; por otra parte, el otro módulo, INFO, es un Sistema de Gestión de Bases de Datos (SGBD) relacionales que maneja los atributos o variables temáticas.

La clave reside en la estrecha interrelación entre los dos componentes, establecida a través del identificador unívoco de cada objeto geográfico que aparece en las dos bases de datos (la temática y la espacial), de manera que los cambios en una de las bases repercutan de modo inmediato en la otra.

El objetivo de los SGBD es proporcionar a los usuarios del SIG las herramientas necesarias para poder crear y mantener la base de datos geográficos en función de aspectos tales como el formato de los datos, el nombre de los campos de la base de datos o las restricciones que para los valores de cada campo deseen introducir. Deben permitir, asimismo, la actualización de la base de datos ante los posibles cambios en las características de los elementos geográficos. El tiempo es un parámetro crucial de control de calidad de los datos geográficos, ya que es muy importante disponer de datos actualizados. Por ello el SGBD incorpora las herramientas que facilitan la actualización parcial de la base de datos según esa variabilidad temporal.

Las estructuras de bases de datos más empleadas en los SGBD son: jerárquicas, en red, relacionales y las orientadas a objetos.

Los tres primeros comparten una característica en común: su organización interna se basa en el empleo de *registros*, *campos* o atributos y *campos clave*. El registro contiene toda la información referida a un objeto geográfico. Los registros quedan divididos en campos, que contienen datos temáticos. Si cualquiera de estos datos puede ser seleccionado a través de una consulta a la base de datos, entonces, el correspondiente campo, recibe el nombre de campo clave.

Estos cuatro tipos de estructuras de datos son las que más frecuentemente se emplean en el ámbito de los SIG, en especial la relacional. Llegado el momento de diseñar y poner en funcionamiento un SIG, puede optarse por el desarrollo completo de una base de datos que sea capaz de tratar los datos espaciales y no espaciales de forma integrada o separada. También se puede optar por una base de datos estándar existente en el mercado, generalmente de tipo relacional, para los datos no espaciales, y se lleva a cabo el desarrollo de funciones o módulos específicos para el tratamiento de los datos espaciales.

Sea cual sea el SGBD utilizado en cada SIG lo que siempre debe prevalecer sobre cualquier otra consideración es que el sistema debe ser versátil y flexible para poder soportar todo tipo de consultas espaciales y, al mismo tiempo, poder adaptarse a las diversas plataformas de soporte físico existentes sin la necesidad de grandes modificaciones.

A partir del momento en que se tiene organizada la base de datos y se han puesto en marcha los mecanismos necesarios para su correcta gestión, podemos empezar a efectuar los análisis de los datos del territorio que consideremos oportunos. Una vez se han llevado a cabo estas operaciones de análisis de los datos sólo cabe proceder a la representación de los resultados de tales operaciones. Este proceso de representación de los datos incluye todas las funciones para elaborar representaciones de la información geográfica, en general, a través de mapas, de una manera útil y comprensible para el usuario del sistema.

3. BASE DE DATOS GEOGRÁFICOS SOBRE LA OCUPACIÓN DEL SUELO EN EL LITORAL DE MARRUECOS

MARCO FÍSICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Marruecos es un país de contrastes: geográficos, históricos y humanos. Dentro de sus fronteras se encuentran desiertos de arena y frondosos bosques; las montañas rocosas del Atlas, que superan los 4.000 m de altura, y fértiles llanuras. Es decir, zonas desérticas apenas habitadas por el hombre, áreas montañosas y ciudades populosas como Casablanca, Rabat, Fez y Marrakech.

Su población se escalona desde los campesinos tribales tradicionales, habitantes de las montañas y hablantes de la lengua beréber, hasta la cultivada clase urbana, educada en Europa, que habla francés y vive en ciudades como Casablanca o Rabat.

Marruecos es un país que se distingue por sus rasgos geográficos y ha sido conformado por sus pobladores. Ocupa el rincón noroeste de África y cuenta con largas costas atlánticas y mediterráneas. Las montañas del Rif y del Atlas forman la espina dorsal del país y, junto con sus ciudades nuevas e históricas, prestan a Marruecos una fisonomía única, mezcla de la vida urbana de la ciudad islámica tradicional, el arcaísmo de las tribus montañosas y el ajeteo y bullicio de los modernos centros urbanos, en vías de crecimiento.

Las constantes sequías y una población que aumenta a un ritmo desahogado han obligado a Marruecos a importar cantidades de alimentos en años recientes, pese a la extensión de sus zonas fértiles y a cierto número de proyectos de regadío encaminados a absorber nuevos territorios para engrosar las tierras de cultivo. Hasta 1975 el gobierno concentró sus esfuerzos de desarrollo en el sector agrícola y se dedicó a la construcción de presas y a la repoblación forestal y al regadío de extensas zonas. Desde entonces se ha dado mayor importancia al desarrollo industrial, particularmente al sector de los fosfatos y a la agroindustria. Marruecos, que cuenta casi con la mitad de las reservas mundiales de fosfatos, confía en éstos como principal recurso económico y como producto básico de sus exportaciones. Otras importantes fuentes de divisas son el turismo, los cítricos, las conservas de pescado, los vegetales y diversos minerales (cobalto, plomo, hierro y manganeso).

Clima

Por su clima y por su situación, en el Magreb, las tierras norte-africanas de las orillas del Mediterráneo apenas se diferencian de los países europeos que forman sus orillas septentrionales: el clima subtropical, con irregulares lluvias invernales y sequía estival, las especies animales y vegetales, el paisaje, son muy parecidos en ambas orillas.

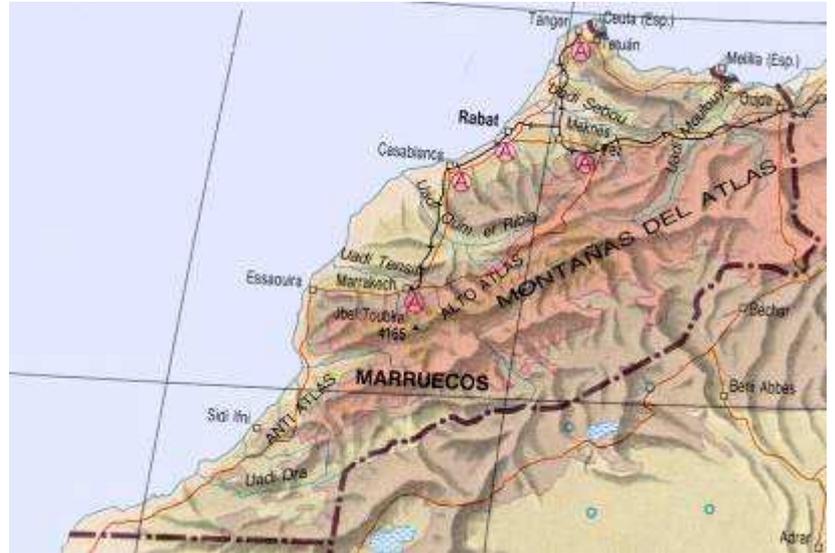


Figura 3.1: Rasgos geográficos del área de estudio, Marruecos.



Figura 3.2: Campo de naranjos en la meseta de Haouz.

De norte a sur las temperaturas se hacen más elevadas y la atmósfera más seca. La fachada atlántica, así como las barreras montañosas que limitan la penetración sahariana hacia el norte, hace que las regiones relativamente más húmedas avancen mucho más al sur que en el resto del Magreb. La zona más húmeda corresponde a la vertiente septentrional de los sistemas montañosos, donde las precipitaciones pueden alcanzar los 800 mm; en la llanura atlántica las precipitaciones se mantienen alrededor de los 500 mm, descienden notablemente en la meseta y en Marruecos oriental, donde apenas llegan a 200 mm.

Al sur del país hace incursión el inmenso desierto sahariano, provocando un clima árido cálido, con temperaturas medias anuales superiores a los 18° C. El desierto del Sáhara, que ocupa la cuarta parte de la superficie continental de África, llega hasta la orilla del Mediterráneo, donde la Cordillera del Atlas se acaba. Incluso en la vecindad de esos mares, su aridez es extrema: no hay en el Sáhara más humedad que la que aportan los ríos nacidos fuera del desierto, como el Dra y el Sus que llevan el agua del Atlas al árido sur de Marruecos, o la que proporcionan las aguas subterráneas, ya afloran en fuentes naturales, ya en pozos, o en **foggaras** (galerías horizontales subterráneas abiertas por el hombre en las laderas de las montañas).

El manto vegetal presenta también una degradación de norte a sur y de oeste a este, paralela a la disminución de las lluvias, sucediéndose los bosques de encinas, pinos, los matorrales y las estepas xerófilas.

Relieve

Marruecos es un país predominantemente montañoso. Su rasgo principal lo constituye la cordillera del Atlas, que se extiende a modo de espina dorsal de noreste a sudoeste. Surcos y altiplanicies separan las distintas alineaciones montañosas, que se disponen aproximadamente paralelas al eje del Atlas. De norte a sur, los principales accidentes geográficos que nos encontramos son: la cordillera del Rif, que bordea la costa mediterránea desde el río Muluya hasta el estrecho de Gibraltar, limitada al sur por la depresión del Sebu; al sur de ésta se alza el Atlas Medio, que se prolonga hacia el Atlántico a través de la meseta marroquí; el curso alto del Muluya y el valle del Tensift separan estos relieves del Alto Atlas, unidad central del relieve del país, al que por el sur se le adosa el Anti Atlas, cuyo pie de monte constituye la transición al desierto del Sahara. La mayor o menor distancia al Atlántico determina un importante factor diferencial de estas unidades fisiográficas, pudiéndose distinguir tres grandes conjuntos regionales:

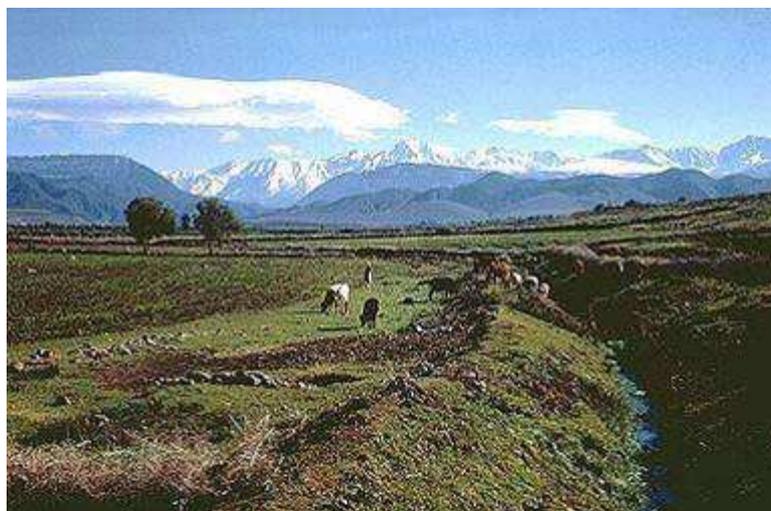


Figura 3.3: Meseta de Haouz en las proximidades de Marrakech a los pies de las montañas del Alto Atlas.

el Marruecos oriental, el presahariano y sahariano y el atlántico.

El primero se extiende al este del valle del Muluya, y constituye la prolongación occidental de Argelia. Al norte del extremo del Alto Atlas y de la llanura de Tamlet, una vasta meseta, que se eleva hasta los 1.300 m en la frontera argelino-marroquí, domina por el este la llanura del Muluya. Al norte de la misma se abre un corredor llano que se ensancha en la región de Oujda, para formar la llanura de los Angad. El

pequeño macizo de los Beni Snassen, que limita por el sur la llanura costera de los Triffa, es la prolongación del Atlas Medio.

El Marruecos presahariano y sahariano está constituido por vastos glaciares pedregosos que se extienden al pie del Alto Atlas y del Anti Atlas. Hacia el sur, las regiones saharianas empiezan con las grandes mesetas calcáreas de la hamada del Draa. Descendiendo desde el Alto Atlas, el valle del uadi Draa alcanza el Atlántico. El Guir es el último gran uadi hacia el este.

El Marruecos atlántico es el conjunto más importante y variado del país. Llanuras litorales y mesetas están cerca de poderosas cadenas de montañas que, formando un amplio anfiteatro, lo aíslan de las regiones del sur y este. Es en esta región donde se encuentran las principales ciudades modernas y centros industriales, como Casablanca y Rabat.

La cadena del Rif está formada, al sur, por un pequeño macizo antiguo flanqueado por un conjunto de mantos de corrimiento y escamas que constituyen una sucesión de montañas de formas suaves, muy erosionadas y dominadas por picachos de calizas o areniscas.

El Atlas Medio ocupa las regiones situadas entre el Rif y el Alto Atlas. Está formado por una sucesión de cadenas calcáreas, de estilo jurásico (Bou Naceu, 3.354 m), orientadas de sudoeste a noreste, separadas por vastas cubetas. Hacia el oeste, los pliegues son más laxos y dejan paso a amplias plataformas calcáreas que enlazan con la meseta marroquí.

El Alto Atlas es una cadena importante de 750 km de longitud, cuyas principales cumbres rebasan los 4.000 m (el pico Tubkal de 4.167 m de altura es el más elevado de África del norte). Se levanta bruscamente sobre las llanuras y mesetas que la bordean por el norte y por el sur. Se diferencian netamente dos partes. El Alto Atlas occidental, constituido principalmente por un fragmento del zócalo antiguo, fracturado, peniplanizado y levantado a distintas altitudes. Pesadas cimas tabulares se alzan sobre las mesetas y las dominan por gigantescos farallones; los valles forman pequeñas cuencas y agrestes desfiladeros. El Alto Atlas oriental es una gigantesca cadena calcárea de tipo jurásico. Los ríos que conforman sus valles son anchos y su fondo cubierto de aluviones permite el asentamiento de algunos cultivos.

Finalmente, el Anti Atlas, formado por terrenos antiguos, origina grandes relieves de tipo apalachiano; se extiende al sur del surco sudatlásico, en cuyo centro se eleva el gran macizo volcánico del Siroua (único volcán del sudoeste de África), que une el Anti Atlas con el Alto Atlas. Al oeste del Atlas Medio se extiende la meseta marroquí, masa ondulada por pliegues de gran radio que forman mesetas en declive, accidentadas tan solo por pequeñas crestas de rocas duras y por valles muy encajados por los que discurren ríos de caudal permanente. Esta región presenta tres aspectos principales: las mesetas formadas por el antiguo zócalo que aflora en los abombamientos estructurales, mesetas calcáreas formadas por restos de la cobertura sedimentaria no arrastrada por la erosión y depresiones interiores en las que el zócalo o su cobertura están recubiertos por aluviones.

El Sebú constituye el límite norte de la meseta, y forma una amplia depresión, que ha sido el camino tradicional entre Marruecos oriental y la costa atlántica a través del paso de Taza. Las ciudades de Fez y Mequinez, al pie de la meseta, reflejan la importancia histórica de este corredor, sede, actualmente, de las principales plantaciones de cultivos industriales y comerciales (algodón, agrios, remolacha azucarera), desarrollados en sectores bien regados por los cursos de agua permanentes.

Agricultura

La agricultura, que ocupa aproximadamente el 18 % de la superficie, es el principal recurso económico. Se cultiva cebada, trigo y en menor proporción maíz y otros cereales. También se obtienen hortalizas, patatas y frutales, entre los que se destacan el dátil y los cítricos. La vid, el olivo y los cultivos industriales (lino, algodón, remolacha, girasol, tabaco y caña de azúcar) completan el panorama agrícola.

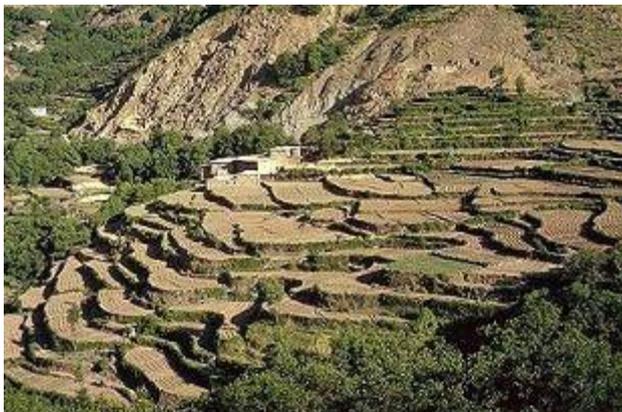


Figura 3.4: Campo de terrazas en Ait Mizane.

Cuando la pendiente del suelo lo exige, lo aterrazan. Afirman los bancales apilando piedras sin cementar. Dominan las técnicas de irrigación: represan los arroyos arriba del monte y hacen bajar el agua por canales de los que derivan acequias para el riego, con frecuencia cubiertas para evitar la evaporación.

Todos los agricultores crían además ganado, sobre todo ovejas y cabras, pero también asnos, mulas, caballos, bóvidos, camellos ocasionalmente, conejos y aves de corral. Tienen, pues, animales de tiro, de carga y de monta, además de obtener carne y leche, pieles y lanas.

Esta equilibrada asociación de agricultura y ganadería la logran los agricultores de las comarcas próximas a la costa criando sus ganados en los rastrojos y en las inmediaciones de los campos de cultivo. Pero en las comarcas montañosas, donde hay poca tierra cultivable, y menos para pastos, se impone una trashumancia estacional.

Los poblados se alzan en las laderas de las montañas y junto a ellos están los campos de cultivo, aterrazados. Cuando se ha terminado de sembrar y comienza un período de menor esfuerzo agrícola, los hombres jóvenes se van con los rebaños montaña abajo para invernar en los valles. En primavera se ponen en marcha de nuevo, pasan por el poblado a tiempo de ayudar en la cosecha, y luego siguen con los rebaños montaña arriba hasta los pastos altos de verano. Esta solución permite criar rebaños de ovejas y cabras más numerosos que los que crían los agricultores de las tierras bajas de la costa.



Figura 3.5: desbrozado de un huerto en el oasis de Tafilalt en el sur de Marruecos.

En la región ocupada por el desierto, en los oasis, la presencia de aguas freáticas inteligentemente aprovechadas permite una agricultura diversificada, como la descrita, junto con una ganadería complementaria, capaces de alimentar a la población nómada de estas regiones.

Los territorios del norte de Marruecos requieren un importante avance en el conocimiento infraestructural que posibilite el desarrollo económico de la región mediante el adecuado aprovechamiento de sus recursos naturales.

Ante la necesidad de potenciar un uso racional del territorio, en el que se consideren tanto los aspectos de ordenación de recursos minerales y aguas subterráneas como los conocimientos que el propio territorio impone

(riesgos naturales y capacidad de acogida), es imprescindible que el planificador disponga de herramientas cartográficas que le permitan abordar un análisis adecuado del territorio y sus recursos.

DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO CARTOGRÁFICO

La cartografía temática de ocupación del suelo

Con el fin de poder llevar a cabo una óptima política de gestión del territorio, es necesario disponer de una cartografía temática, actualizada e integrada en un sistema de información, que proporcione el conocimiento de la cobertura y el uso del suelo.

Este tipo de cartografía necesita de una revisión periódica a fin de que el usuario pueda disponer de una información lo más actual y precisa posible. Un desfase en el tiempo puede conducir a decisiones erróneas en la planificación territorial. El carácter temporal de la cartografía de ocupación del suelo es una de las causas por las que dicha cartografía es escasa en un país a pesar de su importancia para poder gestionar el territorio con eficacia.

La teledetección espacial facilita la realización de mapas de ocupación del suelo a escala nacional, constituyendo una revolución en materia de observación del territorio. En estas condiciones no es de extrañar que la mayor parte de los inventarios de utilización del suelo, cuyos resultados están disponibles en la actualidad como es el caso del Corine Land Cover para los países europeos, han sido realizados en los últimos quince años con la ayuda de datos de observación de la Tierra.

Principios de base

La cartografía temática de la superficie terrestre puede realizarse según dos puntos de vista diferentes:

- La cobertura del suelo, si consideramos la naturaleza de los objetos sobre la superficie terrestre (bosques, cultivos, ciudades, superficies de agua, etc.) con criterio biofísico.
- El uso del suelo, si consideramos la función socio-económica de la superficie terrestre (agricultura, hábitat, industria, protección del medioambiente, etc.).

La cartografía de ocupación del suelo recoge, en este proyecto, los dos conceptos anteriores, puesto que representa tanto la cobertura como los usos, la ocupación como la utilización del suelo.

Cualquier proyecto cartográfico sobre la ocupación del suelo exige definir como elementos fundamentales: la escala cartográfica, la unidad espacial, junto con la superficie correspondiente a la unidad cartografiable más pequeña, y la nomenclatura de ocupación del suelo.

La escala cartográfica adoptada para la realización del mapa de ocupación del suelo en la franja litoral de Marruecos ha sido 1:100.000. Esta escala resulta de un compromiso entre la información proporcionada por los sensores espaciales utilizados (Landsat-TM y SPOT-HRV), los objetivos del mapa, las utilidades complementarias del proyecto, el coste y el tiempo para formar dicha cartografía. La experiencia de los países europeos, gracias al programa Corine, proyecto Land Cover, muestra que esta escala está perfectamente adaptada a las necesidades que requiere la gestión de los recursos naturales, tanto por la exhaustividad de los objetos que esta escala permite observar, como por la precisión en su localización (precisión de algunas decenas de metros).

La cartografía de la ocupación del suelo exige también definir la unidad espacial para dividir el territorio. Dicha unidad es, por un lado, una herramienta conceptual de análisis del territorio en términos de ocupación del suelo y, por otro lado, una herramienta de lectura y de organización de los datos de observación de la Tierra (imágenes de satélite) que constituyen una representación particular de la heterogeneidad y de la diversidad de los objetos que cubren la superficie de la Tierra. Puede definirse a partir de sus principales características:

- Corresponde a una zona en la que la cobertura puede ser considerada homogénea (superficie de agua, forestal, urbana, etc.), o bien a una combinación de zonas elementales (homogéneas en el sentido precedente) que, a través de sus variaciones, representa las estructuras de ocupación.
- Presenta, teniendo en cuenta la escala de trabajo, una superficie significativa sobre el terreno.
- Se distingue claramente de las unidades que la rodean.
- Su contenido debe satisfacer las necesidades temáticas del inventario medioambiental que se va a realizar.
- Debe proporcionar una representación aceptable de la realidad.

Una vez definidas la escala de trabajo y la unidad espacial para la división del territorio, se hace necesario fijar la superficie de la mínima unidad cartografiable. Dicha unidad se fijó en 25 hectáreas con el objetivo de responder a cuatro exigencias fundamentales:

- permitir representar los elementos esenciales de la realidad del terreno a la vista de los objetivos temáticos del proyecto,
- conducir a que el coste de realización del proyecto versus satisfacción de las necesidades en información sobre la ocupación del suelo, sea compatible con las exigencias financieras del proyecto en su conjunto,
- hacer legible el mapa impreso,
- debe ser significativa según el sistema de captura empleado.

A la escala 1:100.000, esta superficie supone un polígono cuadrado de 5 mm de lado o un círculo de 2,8 mm de radio en el mapa.

Con respecto a la nomenclatura, se detalla en el apartado de "Trabajos preliminares" de la siguiente sección.

La metodología

El desarrollo del proyecto se articuló básicamente sobre cuatro puntos principales con el objeto de crear un conjunto homogéneo de herramientas y de datos operacionales que pudieran dar apoyo a los expertos marroquíes del ministerio de medioambiente:

- Adaptación de la leyenda del Corine Land-Cover al entorno marroquí.
- Fotointerpretación y validación.
- Creación de la base de datos.

- Puesta de la base de datos a disposición del ONEM¹⁸

Estos puntos se abordaron en las tres etapas siguientes:

- 1) Trabajos preliminares.
- 2) Generación de imágenes de falso color.
- 3) Fotointerpretación y validación.

Trabajos preliminares

Los trabajos preliminares comprenden el conjunto de operaciones previas a la generación de las imágenes en falso color que servirán de base a la fotointerpretación.

Entre los trabajos preliminares se encuentra la adaptación, para el proyecto MEDGEOBASE-Marruecos, de la leyenda del Corine Land-Cover con el fin de tener en cuenta las condiciones naturales marroquíes.

La nomenclatura adoptada para el proyecto Corine Land-Cover resultó de las necesidades de la Comisión Europea con respecto a la información sobre el estado del medioambiente en Europa y su evolución. Esta nomenclatura sobre la ocupación del suelo empleada por la U.E., debe ser modificada para tener en cuenta la diversidad climática y biofísica de Marruecos. Consensuada con el usuario final dando lugar al cuarto nivel.

El problema de una auténtica leyenda para la ocupación del suelo utilizable en la gestión del territorio y de los recursos naturales está, de hecho, por delante de cualquier consideración sobre la naturaleza de las informaciones de base empleadas para producir el inventario cartográfico y cualesquiera que sean las condiciones climáticas del país considerado. A este respecto, la nomenclatura de uso del suelo correspondiente al nivel tres del Corine, puede considerarse el embrión de una leyenda aplicable a cualquier país independientemente de su situación geográfica.

En la tabla 3.I se muestra la leyenda final adoptada para la clasificación de la ocupación del suelo en el litoral marroquí. Cada uno de los diferentes elementos de la tabla se define a continuación, hasta el tercer nivel.

¹⁸ ONEM: Observatoire National de l'Environnement du Maroc.

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
1. Superficies Artificiales	1.1. Zonas urbanas 1.2. Zonas industriales comerciales y de transporte 1.3. Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción 1.4. Zonas verdes artificiales no agrícolas	1.1.1. Tejido urbano continuo 1.1.2. Tejido urbano discontinuo 1.2.1. Zonas industriales o comerciales 1.2.2. Redes viarias, ferrocarriles y terrenos asociados 1.2.3. Zonas portuarias 1.2.4. Aeropuertos 1.3.1. Extracción minera 1.3.2. Escombreras y vertederos 1.3.3. Zonas en construcción 1.4.1. Espacios verdes urbanos 1.4.2. Instalaciones deportivas y recreativas	1.1.2.1. Tejido urbano discontinuo 1.1.2.2. Erial urbano periférico 1.2.1.1. Zonas industriales o comerciales 1.2.1.2. Zonas turísticas (hoteleras) 1.2.1.3. Instalaciones petroleras
2. Zonas Agrícolas	2.1. Tierras de labor 2.2. Cultivos permanentes 2.3. Praderas 2.4. Zonas agrícolas heterogéneas	2.1.1. Tierras de labor en secano 2.1.2. Terrenos regados permanentemente 2.1.3. Arrozales 2.2.1. Viñedos 2.2.2. Vergel y pequeños frutales 2.2.3. Olivares 2.2.4. Oasis 2.3.1. Praderas 2.4.1. Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes 2.4.2. Mosaico de cultivos 2.4.3. Terrenos principalmente agrícolas con presencia de vegetación natural 2.4.4. Sistemas agroforestales 2.4.5. Palmerales no productivos (excepto oasis)	2.1.2.1. Terrenos regados por aspersión 2.1.2.2. Terrenos regados por aguas superficiales 2.2.2.1. Vergeles en regadío 2.2.2.2. Vergeles en secano
3. Zonas forestales y seminaturales	3.1. Bosques 3.2. Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea 3.3. Espacios abiertos con o sin vegetación	3.1.1. Bosques de frondosas 3.1.2. Bosques de coníferas 3.1.3. Bosques mixtos 3.2.1. Pastizales naturales 3.2.2. Landas y matorrales 3.2.3. Vegetación esclerófila 3.2.4. Cultivos de esparto 3.2.5. Bosque y vegetación arbustiva de transición 3.3.1. Playas, dunas y arenales 3.3.2. Roquedo 3.3.3. Espacios de vegetación escasa 3.3.4. Zonas quemadas 3.3.5. Glaciares y nieves permanentes	3.1.1.1. Bosques de frondosas denso 3.1.1.2. Bosque de frondosa con claros 3.1.2.1. Bosque de coníferas denso 3.1.2.2. Bosque de coníferas con claros 3.1.3.1. Bosque mixtos densos 3.1.3.2. Bosque mixtos con claros 3.3.1.1. Playas 3.3.1.2. Dunas costeras y arenales 3.3.3.1. Estepas xerófilas 3.3.3.2. Estepas halófilas 3.3.3.3. Otros espacios de vegetación escasa
4 Zonas húmedas	4.1 Zonas húmedas continentales 4.2 Zonas húmedas litorales	4.1.1. Humedales y zonas pantanosas 4.1.2. Turberas 4.2.1. Marismas 4.2.2. Salinas 4.2.3. Zonas llanas intermareales	
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales 5.2. Aguas marinas	5.1.1. Cursos de agua 5.1.2. Láminas de agua 5.2.1. Lagunas costeras 5.2.2. Estuarios 5.2.3. Mares y océanos	5.1.2.1. Embalses 5.1.2.2. Lagos

Tabla 3.1: Nomenclatura final de ocupación del suelo para el entorno natural marroquí.

NOMENCLATURA – DEFINICIONES

1. **SUPERFICIES ARTIFICIALES**

11. **ZONAS URBANAS**

111. **Tejido urbano continuo**

En esta categoría se incluyen aquellos espacios estructurados por edificaciones. Los edificios, las calles y las superficies artificialmente recubiertas que ocupan la casi totalidad del suelo. La vegetación no lineal y el suelo desnudo son excepcionales.

112. **Tejido urbano discontinuo**

Corresponde a aquellos espacios estructurados por edificaciones, al igual que la categoría anterior, sin embargo, en este caso los edificios, las calles y las superficies artificialmente recubiertas coexisten con superficies arboladas y suelo desnudo, que ocupan de manera discontinua superficies no despreciables.

12. **ZONAS INDUSTRIALES, COMERCIALES Y DE TRANSPORTE**

121. **Zonas industriales o comerciales**

En esta categoría se incluyen aquellas zonas recubiertas artificialmente (áreas cimentadas, asfaltadas o estabilizadas: Tierra batida, por ejemplo), sin vegetación y ocupando la mayor parte del suelo. Estas zonas comprenden tanto edificios como superficies con vegetación.

122. **Redes viarias, ferrocarriles y terrenos asociados**

Se incluyen autopistas y vías férreas, junto con las superficies anexas (estaciones, andenes, terraplenes). La longitud mínima a tener en cuenta es de 100 m.

123. **Zonas portuarias**

Corresponde a las infraestructuras de las zonas portuarias, incluidos muelles, talleres navales y los puertos deportivos.

124. **Aeropuertos**

Infraestructuras de aeropuertos, pistas, edificios y superficies asociadas.

13. **ZONAS DE EXTRACCIÓN MINERA, VERTEDEROS Y DE CONSTRUCCIÓN**

131. **Extracción minera**

En esta categoría se incluyen las zonas de extracción de materiales a cielo abierto (canteras o minas a cielo abierto). También las graveras bajo láminas de agua, con excepción de las extracciones realizadas en el lecho de los ríos.

132. **Escombreras y vertederos**

Corresponden a las zonas de descargas y depósitos de minas, de industrias o de colectividades públicas.

133. Zonas en construcción

Se incluyen los espacios en construcción, excavaciones y suelos removidos.

14. ZONAS VERDES ARTIFICIALES NO AGRÍCOLAS

141. Espacios verdes urbanos

Espacios arbolados incluidos en el tejido urbano. Comprende los parques urbanos y cementerios con vegetación.

142. Instalaciones deportivas y recreativas

Corresponde a las infraestructuras de terrenos de camping, de terrenos para deportes, parques de ocio, campos de golf, hipódromos, etc., junto con los parques acondicionados no incluidos en el tejido urbano.

2. ZONAS AGRÍCOLAS

21. TIERRAS DE LABOR

Corresponden a esta categoría aquellas superficies cultivadas y labradas regularmente, en general incluidas en una rotación de cultivos.

211. Tierras de labor en secano

Cereales, leguminosas, cultivos forrajeros, plantas escardadas y barbecho. Se encuentran incluidos los cultivos florales y viveros y huertos, tanto en invernadero como bajo plástico, así como plantas medicinales aromáticas y de condimento. No están incluidas las praderas.

212. Terrenos regados permanentemente

Cultivos en regadío, tanto permanentemente como periódicamente, gracias a una infraestructura permanente (canal de riego). Gran parte de estos cultivos no podrían ser cultivados sin el aporte artificial de agua. No se incluyen las superficies regadas ocasionalmente.

213. Arrozales

Superficies ocupadas por cultivo de arroz. Terrenos planos con canales de riego. Superficies regularmente recubiertas de agua.

22. CULTIVOS PERMANENTES

En esta categoría se incluyen los cultivos no rotatorios que se cosechan regularmente y que ocupan el suelo durante un largo período antes de cosechar sin labrar ni replantar: Cultivos de plantas leñosas principalmente. Se excluyen las praderas, los pastos y los bosques.

221. Viñedos

Superficies plantadas de viñas.

222. Vergel y pequeños frutales

Zonas ocupadas por parcelas plantadas de árboles o arbustos frutales, cultivos puros o mezcla de especies frutales, árboles frutales en asociación con superficies verdes.

223. Olivares

Superficies plantadas de olivos. Se incluye también la mezcla de olivo y viña en la misma parcela.

224. Oasis

Se engloban en esta categoría aquellas zonas con vegetación y manantiales de agua que se encuentran aisladas en zonas desérticas o arenales.

23. PRADERAS

231. Praderas

Corresponden a esta categoría aquellas superficies verdes densas de composición principalmente de gramíneas. Son fundamentalmente pastos, donde el forraje puede ser recolectado mecánicamente.

24. ZONAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS

241. Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes

Corresponden a esta categoría los cultivos anuales asociados con cultivos permanentes sobre las mismas parcelas.

242. Mosaico de cultivos

Yuxtaposición de pequeñas parcelas de cultivos anuales diversificados, de praderas y/o de cultivos permanentes.

243. Terrenos principalmente agrícolas con presencia de vegetación natural

Superficies esencialmente agrícolas, interrumpidas por la vegetación natural.

244. Sistemas agroforestales

Cultivos anuales o pastos bajo cubierta arbórea compuesta de especies forestales.

245. Palmerales no productivos (excepto oasis)

3. ZONAS FORESTALES Y SEMINATURALES

31. BOSQUES

311. Bosques de frondosas

Formaciones vegetales principalmente constituidas por árboles, arbustos y matorral, donde predominan las especies forestales frondosas.

312. Bosques de coníferas

Formaciones vegetales principalmente constituidas por árboles, arbustos y matorral, donde predominan las especies forestales coníferas.

313. Bosques mixtos

Formaciones vegetales principalmente constituidas por árboles, arbustos y matorral, donde no predominan ni las frondosas ni las coníferas.

32. ESPACIOS DE VEGETACIÓN ARBUSTIVA Y/O HERBÁCEA

321. Pastizales naturales

Pasto de baja productividad, situados en zonas accidentadas. Asociados con superficies rocosas, zarzas y maleza.

322. Landas y matorrales

Formaciones vegetales bajas y cerradas, compuestas principalmente de zarzas, arbustos y plantas herbáceas (brezo, retama, etc.).

323. Vegetación esclerófila

Vegetación arbustiva esclerófila. Incluye monte bajo y carrascal.

- Monte bajo: asociaciones vegetales densas compuestas de numerosos arbustos que cubren los terrenos silicosos ácidos en el medio mediterráneo.
- Carrascal: asociaciones matorrales discontinuas de las mesetas calcáreas mediterráneas.

Algunos árboles aislados pueden estar presentes.

324. Cultivos de esparto

Terreno con cubierta vegetal principal de esparto que, generalmente, se recolecta.

325. Bosque y vegetación arbustiva de transición

Vegetación arbustiva o herbácea con árboles dispersos. Formaciones que pueden resultar de la degradación del bosque o de una recolonización/regeneración por el bosque.

33. ESPACIOS ABIERTOS CON O SIN VEGETACIÓN

331. Playas, dunas y arenales

Las playas, las dunas y las arenas extendidas o de guijarros del medio litoral y continental. Comprende también los lechos rocosos de los ríos en régimen torrencial.

332. Roquedo

Desprendimientos, acantilados y afloramientos rocosos.

333. Espacios de vegetación escasa

Comprende las estepas, tundra y “bad lands”. Vegetación dispersa de elevada altitud.

334. Zonas quemadas

Áreas afectadas por incendios recientes. Los materiales carbonizados están todavía presentes.

335. Glaciares y nieves permanentes

Superficies cubiertas por glaciares y nieves perpetuas.

4. ZONAS HUMEDAS

41. ZONAS HUMEDAS CONTINENTALES

Se incluyen en esta categoría las áreas no arboladas parcial, temporal o permanentemente saturadas por agua estancada o corriente.

411. Humedales y zonas pantanosas

Tierras bajas generalmente inundadas en invierno y mas o menos saturadas de agua en todas las estaciones.

412. Turberas

Terrenos porosos húmedos en los que el suelo está constituido principalmente de musgos y de materiales vegetales en descomposición. Turberas explotadas o no.

42. ZONAS HÚMEDAS LITORALES

Se incluyen en esta categoría las zonas no arboladas parcial, temporal o permanentemente saturadas de agua salada o salobre.

421. Marismas

Tierras bajas con vegetación, situadas por debajo del nivel de marea alta, susceptibles por tanto de ser inundadas por el agua del mar. Se encuentran en vías de colmatación, colonizadas poco a poco por plantas halófilas.

422. Salinas

Salinas activas o en vías de abandono. Partes de marismas marinas puestas en explotación para la producción de sal por evaporación. Las marismas saladas se distinguen netamente del resto de marismas por su parcelario de explotación y su sistema de diques.

423. Zonas llanas intermareales

Extensiones de cieno, arena o rocas generalmente sin vegetación, comprendida entre el nivel de aguas altas y bajas. Línea de nivel cero en los mapas.

5. SUPERFICIES DE AGUA

51. AGUAS CONTINENTALES

511. Cursos de aguas

Cursos de agua naturales o artificiales que sirven de canal de flujo de agua. Longitud mínima a tener en cuenta: 100 m.

512. Láminas de agua

Extensiones de agua, naturales o artificiales.

52. AGUAS MARINAS

521. Lagunas costeras

Extensiones de agua salada o salobre sin vegetación separadas de mar por avances de tierra o topografías similares. Estas superficies de agua pueden ponerse en comunicación con el mar puntualmente, sea de forma permanente, de forma periódica o en ciertos momentos del año.

522. Estuarios

Parte final de la desembocadura de los ríos, que se encuentran bajo la influencia del mar.

523. Mares y Océanos

Zonas que se encuentran por debajo del límite de marea baja.

Generación de imágenes de falso color

El tratamiento informático de los datos procedentes de los satélites, tiene por objeto la corrección geométrica y el realce de las imágenes Landsat-TM o Spot-HRV con el fin de obtener:

- Imágenes fácilmente interpretables.
- Datos digitales de fácil acceso para la visualización y tratamientos complementarios en un sistema interactivo.

Los datos satelitales utilizados para la ejecución del proyecto provinieron del sensor TM del satélite Landsat5. Sin embargo, en la zona sur de Marruecos y debido a las dificultades encontradas para obtener la información adecuada, fue necesario utilizar imágenes multiespectrales adquiridas por el sensor HRV del satélite SPOT. Las imágenes y fechas utilizadas se muestran en las tablas 3.II y 3.III. Se eligieron preferentemente imágenes de verano con el fin de facilitar la fointerpretación con un porcentaje de cobertura nubosa mínima.

Las imágenes del Landsat-TM ofrecen una visión de la misma zona en 7 canales espectrales distintos, según se vio en la primera parte, lo que permite una mejor distinción de los usos del suelo para los diferentes tipos de coberturas terrestres. Además, la resolución espacial (30 m) es suficiente para la escala cartográfica del proyecto. Por otro lado, cada imagen Landsat cubre alrededor de 32.000 Km², lo que significa un menor coste de las imágenes por unidad de superficie frente a otros sensores con resolución semejante.

Coordenada X (órbita)	Coordenada Y (línea)	Fecha
199	36 (completa)	13/08/93
200	36 (completa)	19/07/93
201	35 (cuarto flo.)	09/09/92
201	36 (completa)	24/06/93
201	37 (cuarto 1)	24/06/94
202	36 (cuarto 4)	16/09/92
202	37 (completa)	16/09/92
203	37 (cuarto 4)	03/04/93
203	38 (completa)	05/09/91
203	39 (completa)	22/04/94

Tabla 3.II: Imágenes Landsat utilizadas en el proyecto MEDGEOBASE en Marruecos.

Coordenada X (órbita)	Coordenada Y (línea)	Fecha
27	288	20/06/95
28	289	11/06/93
28	290	18/08/91
29	290	27/03/92

Tabla 3.III: Imágenes Spot complementarias, adquiridas para la realización del trabajo en la zona de Agadir.

Son necesarias, al menos, cinco etapas para generar las imágenes que serán fotointerpretadas:

- 1) La eliminación de artefactos.
- 2) Las correcciones geométricas.
- 3) El remuestreo.
- 4) El realce de la imagen.
- 5) La producción de imágenes a la escala 1:100.000.

1. Eliminación de artefactos:

Como consecuencia del mal funcionamiento momentáneo de los detectores, es necesario corregir ciertas “anomalías” de los datos brutos suministrados por el distribuidor. Estas anomalías son esencialmente:

- Líneas de barrido perdidas o aberrantes
- Píxeles saturados (chimeneas, incendios ...)
- Pequeñas zonas de píxeles negros o blancos (píxeles “tintileantes”).

Estas anomalías deben eliminarse mediante técnicas de promediado u otro tipo de filtrado.

2. Correcciones Geométricas:

Cuando una imagen es adquirida por un sensor y transmitida a una estación de recepción en Tierra, contiene errores en su geometría y en el valor digital de los píxeles (radiometría). Estos últimos errores en la imagen son debidos a diversas causas: los efectos atmosféricos y los propios detectores que constituyen el sensor.

Los errores geométricos son debidos fundamentalmente a los siguientes factores: la rotación de la tierra, la oblicuidad debida al tiempo de barrido o las variaciones de altitud, velocidad y la posición del satélite.

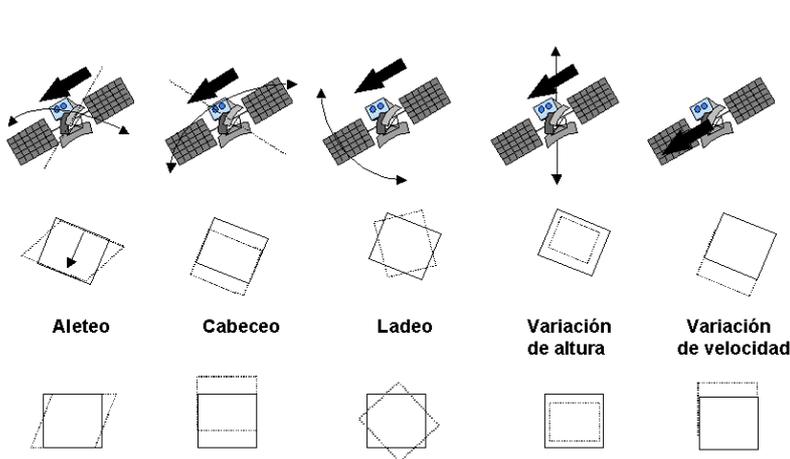


Figura 3.6: Errores geométricos en las imágenes debidos a las variaciones de altitud, velocidad y posición del satélite.

Todas estas anomalías precisan un tratamiento de las imágenes ajustándolas a modelos matemáticos más o menos conocidos.

Los datos digitales deben también corregirse geoméricamente en función de los mapas topográficos de un país, en una proyección cartográfica determinada, con el fin de dotar a la imagen de las propiedades de un mapa. Esto significa que cada píxel con coordenadas de imagen debe transformarse a sus correspondientes coordenadas planas en un sistema cartográfico. Esta transformación se obtiene

haciendo corresponder una serie de puntos de control (Ground Control Point = GCP) localizados sobre el mapa, y estos mismos puntos identificados sobre la imagen. Los puntos deben ser obligatoriamente fijos: intersección de carreteras, límites de pistas de aeropuertos, etc.

Como sistema cartográfico de representación, se utilizó el correspondiente a la cartografía topográfica nacional de Marruecos:

Proyección: Cónica conforme de Lambert (Zona I Y II)
 Elipsoide: Clarke 1880 (a = 6378249,2 m, b = 6356515,0 m)

Siendo los parámetros de la proyección para cada una de las zonas los que se muestran en la tabla siguiente:

	ZONA I	ZONA II
Paralelo de Pseudatangencia	37 g N	33 g N
Meridiano Central	6 g W	6 g W
K_{tissot}	0.999625769	0.999615596
1 ^{er} paralelo estándar	34° 51' 57.6" N	31° 16' 30" N
2° paralelo estándar	31° 43' 30" N	28° 05' 52,8" N
Latitud origen de la proyección	33° 18' N	29° 42' N

Tabla 3.IV: Parámetros de la proyección Cónica Conforme de Lambert para las dos zonas marroquíes.

Cada punto de control (GCP) está caracterizado por sus coordenadas de mapa (x, y) en el sistema de referencia propio de la proyección utilizada. Estos puntos deben estar en número suficiente y repartidos de forma homogénea por toda la imagen. Con estos datos se determina la función de transformación entre ambos conjuntos de coordenadas. La función es del tipo polinomial, para la que es recomendable utilizar polinomios de grado 1 ó 2 como mucho, a fin de no introducir aberraciones locales en el resultado.

El número de puntos de control necesarios para obtener un error cuadrático medio (RMS) de 1 píxel, como resultado de la corrección geométrica de las imágenes, está entre 40 y 70 puntos para las imágenes Landsat y Spot XS.

Una vez ajustada, esta transformación se aplica a todo el conjunto de la imagen. Se determina de esta forma la posición en la imagen bruta de cada punto de la imagen corregida. El valor digital correspondiente a los nuevos puntos viene determinado por el método de remuestreo elegido.

3. Remuestreo:

El proceso de remuestreo consiste en proporcionar un valor numérico a los píxeles cuyas dimensiones y/o la posición han sido modificadas con respecto a los píxeles originales (efecto de la corrección geométrica). Como resultado del proceso de remuestreo se obtiene una imagen corregida.

El proceso de remuestreo puede realizarse según diversos métodos. Entre los más utilizados se encuentran: el vecino más próximo y la convolución cúbica. En el primero el valor digital del píxel a calcular es igual al del vecino más próximo en la imagen original. En la convolución cúbica, en cambio, el valor digital del píxel en la imagen corregida se calcula promediando los 16 valores más cercanos en la imagen original, ponderando según distancia al píxel corregido.

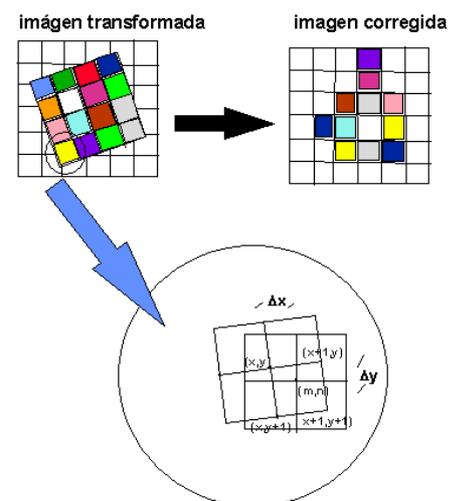


Figura 3.7: Esquema del proceso de remuestreo por "vecino más próximo".

El proceso de remuestreo permite también la reducción del tamaño del píxel original de la imagen, con el fin de mejorar visualmente el aspecto de la imagen (fundamental para el procedimiento de fotointerpretación) y poder utilizar escalas más bajas en la representación en papel. Así, por ejemplo, en lugar de los 30 m de tamaño de píxel en las imágenes originales del Landsat, se pueden generar las imágenes georreferenciadas con un tamaño de píxel de 25 m.

La imágenes de base que se utilizaron para cartografiar la ocupación del suelo en el litoral marroquí, se obtuvieron mediante el método de remuestreo de convolución cúbica con el objeto de que tuvieran buena calidad visual.

4. Realce de la imagen:

El objeto de este tratamiento es mejorar la calidad visual de la imágenes digitales con el fin de ayudar al fotointérprete en su análisis.

El realce de las imágenes supone básicamente la manipulación del histograma de la imagen y la aplicación de filtros.

La manipulación del histograma o ajuste del contraste consiste en técnicas que convierten los valores digitales de los píxeles de modo que el histograma de dichos valores a representar en el monitor (o imprimir a través de un plotter) resulta comprimido o expandido, según se desee.

En el caso de que el rango de valores de la imagen digital supere el de la tarjeta gráfica, hay que comprimir estos valores, lo que se puede realizar eliminando aquellos que sobrepasen un máximo y un mínimo o con una función que realice la compresión entre ambos límites arbitrarios.

La expansión del contraste supone que los valores originales de una imagen digital pueden estar en un rango que no completa la totalidad de valores a representar por la tarjeta gráfica, lo que implica que al representarse en el monitor la imagen aparece con poco contraste. Existen diversos métodos para expandir el histograma, entre los que se encuentra la expansión lineal. Se decide el valor mínimo y máximo que se convertirán en el valor mínimo (0) y máximo (255) permisible en la tarjeta gráfica y se calcula un coeficiente para calcular linealmente los valores intermedios.

Los filtros aplicados a las imágenes digitales pretenden resaltar o suavizar diversos rasgos existentes en la imagen, de modo que se transforme la relación de los valores digitales de los píxeles con los de sus vecinos resaltando o amortiguando su diferencia.

El proceso de filtrado de una imagen digital se basa en operar cada uno de los píxeles que la componen con una máscara confeccionada por una matriz de 3 x 3 elementos, de modo que se realice una convolución con los vecinos del píxel y el resultado de dicha operación sustituya al píxel central considerado. Esta operación tal como se ha dicho, se realiza con cada uno de los píxeles de la imagen.

Un ejemplo de filtro utilizado es el siguiente:

$$\begin{pmatrix} 0 & -0,4 & 0 \\ -0,4 & 2,6 & -0,4 \\ 0 & -0,4 & 0 \end{pmatrix}$$

como filtro Laplaciano para el realce radiométrico. También se utilizaron filtros de Wallis (estadísticos) para la intensidad.

5. Producción de imágenes a la escala 1:100.000:

Las imágenes de satélite, una vez realizadas las correcciones geométricas y los realces correspondientes deben ser ploteadas en color sobre papel fotográfico a la escala 1:100.000. Se obtiene así lo que llamaremos “mapas-imagen”.

La dimensión de cada mapa-imagen impreso en papel debe ser superior, en algunos centímetros, respecto a la hoja topográfica correspondiente. Además, las esquinas de dicha hoja deben figurar sobre la imagen de satélite.

Los datos del Landsat-TM y Spot-XS se pueden combinar normalmente para obtener una imagen que representa la apariencia de una fotografía aérea infrarrojo color.

La siguiente tabla indica las diferentes combinaciones de bandas espectrales en RGB utilizadas para generar los mapas-imagen en falso color.

	Rojo (R)	Verde (G)	Azul (B)
Landsat TM	TM4 (infrarrojo próximo)	TM5 (Infrarrojo medio)	TM3 (rojo)
	TM4 (infrarrojo próximo)	TM3 (rojo)	TM2 (verde)
Spot XS	XS3 (infrarrojo próximo)	XS2 (rojo)	XS1 (verde)

Tabla 3.V: Combinación de bandas espectrales (sistema aditivo) para la producción de imágenes en falso color

Con las imágenes Lansat-TM la mejor combinación de bandas espectrales para la cartografía de ocupación del suelo es la correspondiente a TM4 (infrarrojo próximo), TM5 (infrarrojo medio) y TM3 (rojo) en RGB.

Desde el punto de vista metodológico, si tenemos en cuenta un valor de 0,2 mm para la tolerancia en la precisión planimétrica, las imágenes Landsat (tamaño de pixel = 25 m) se imprimen a una resolución de 101,6 píxeles por pulgada, mientras que las imágenes Spot (tamaño de pixel = 20 m) se imprimen a la resolución de 127 píxeles por pulgada.

Es preferible producir dos copias de cada imagen a la escala 1:100.000. La primera servirá como documento de trabajo (interpretación y trabajo de campo), la segunda se guardará como documento de referencia.

Fotointerpretación y validación

La fase de fotointerpretación consiste principalmente en asegurar la geometría del acetato de interpretación con ayuda de referencias claramente visibles a la vez sobre la imagen de satélite y sobre el mapa topográfico, posteriormente delimitar los diferentes tipos de cubierta sobre el suelo utilizando fotos aéreas como datos auxiliares principales. A cada tipo de ocupación del suelo corresponde una clase de la leyenda del Corine Land Cover.

Conviene sin embargo señalar la extrema complejidad de los paisajes marroquíes, tanto desde el punto de vista agrícola como natural. Así, por ejemplo, es muy variado el aspecto que pueden presentar los olivares en una imagen, en función

de su densidad, de su edad, de la naturaleza del suelo, de las condiciones edafológicas.

La fotointerpretación de una imagen de satélite consiste en un proceso de generalización gracias a un control interactivo por parte del fotointérprete. Dicha labor se realiza en tres pasos bien diferenciados:

- Delimitación en primer lugar, sobre el mapa-imagen en falso color, de una zona (polígono) susceptible de representar una unidad de ocupación del suelo.
- Identificación (con la ayuda de datos auxiliares: fotografía aérea, mapa topográfico, mapa de cultivo y aprovechamientos, etc.) de dicha zona a una clase de la leyenda.
- Extensión de la delimitación/identificación anterior al conjunto de zonas de la imagen que presenta características (color, estructuras y texturas) idénticas o muy próximas.

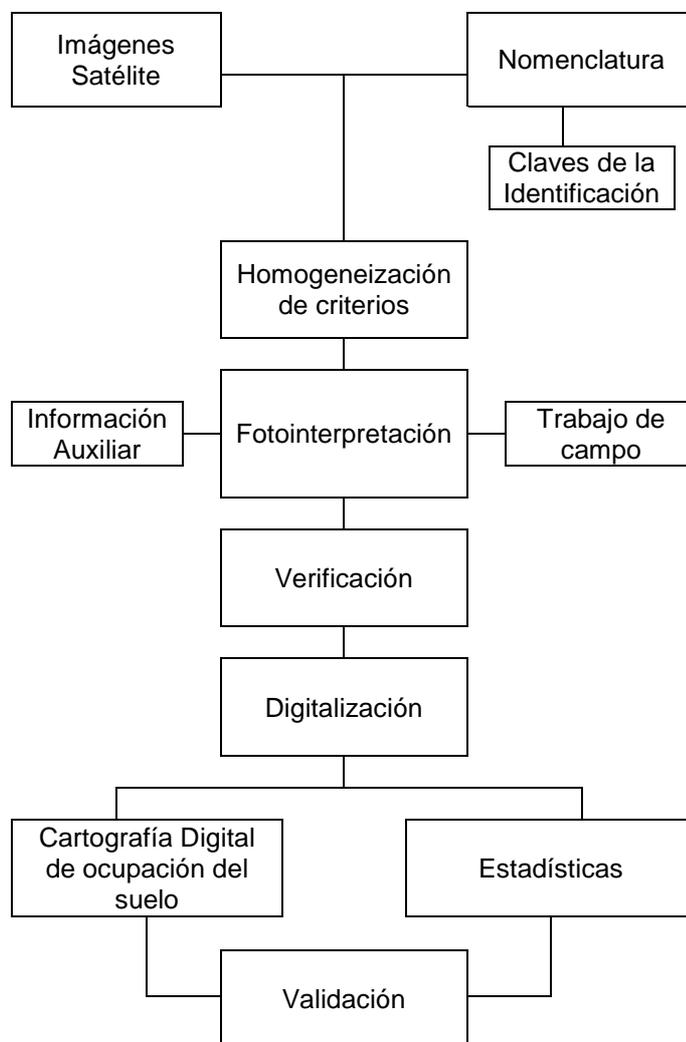


Figura 3.8: Esquema que representa la metodología a seguir para la obtención de la cartografía digital de ocupación del suelo a partir de imágenes de satélite

Este control interactivo descrito, que consiste en confrontar permanentemente los resultados de la generalización con otras fuentes de información (documentación externa propiamente dicha, visualización de los tratamientos informáticos), viene impuesto por la naturaleza misma de los datos multiespectrales utilizados. Debe tenerse en cuenta que toda generalización realizada exclusivamente a partir de la interpretación de imágenes de satélite conduce a errores, bien sea en los límites o en la identificación de las clases de la leyenda, debido principalmente a la similitud en la respuesta espectral de determinadas clases. Así, por ejemplo, en la realización de esta fase del proyecto MEDGEOBASE en Marruecos se presentaron dificultades en la discriminación de plantaciones de eucaliptos y especies resinosas, en la diferenciación entre estepas xerófilas y halófilas y se produjeron errores de fotointerpretación en los cultivos de esparto.

La primera fase de la fotointerpretación consiste en la identificación / limitación de las categorías o clases. Esta fase está guiada principalmente por la aplicación de las claves de interpretación de las imágenes de satélite en falso color, claves que forman parte de los conocimientos de base de todo fotointérprete.

La fotointerpretación de las imágenes de satélite se basa en dos principios fundamentales:

- Cada color de la imagen puede ser asociado a un número limitado de clases presentes sobre el terreno. El problema resulta del hecho de que la imagen falso color comprende (potencialmente) varios millones de colores diferentes, mientras que, por otro lado, es el resultado de la adición de tres capas de colores de base (rojo, verde y azul) cada capa contiene 256 tonos diferentes.
- Manchas (conjuntos de píxeles aislados) de tonos diferentes pueden presentar disposiciones sobre la imagen que son significativas de ciertos tipos heterogéneos de ocupación del suelo (por ejemplo, zonas de viñas y de huertas, manchas rosadas, manchas rosadas en combinación con manchas de diferentes tonos de gris).

A título de ejemplo, la tabla 3.VI muestra ejemplos de claves de interpretación generales que resultan de la aplicación del primer principio para las imágenes en falso color (4, 5, 3 en RGB) adquiridas en los meses de agosto y septiembre.



Figura 3.9: Fotointerpretación de las imágenes de satélite.

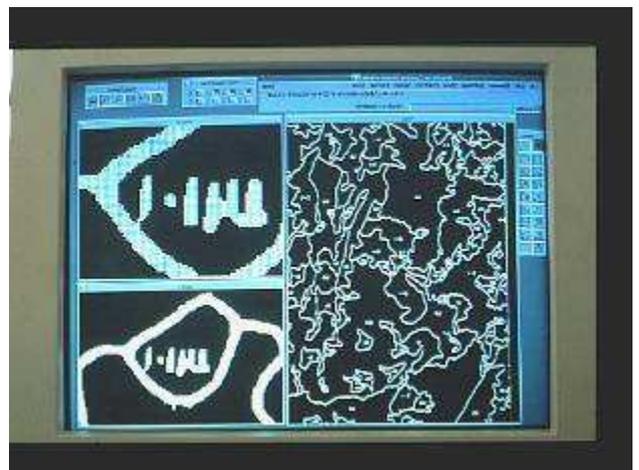


Figura 3.10: Delimitación de las clases fotointerpretadas.

USO DEL SUELO	COLORES REPRESENTADOS EN LA IMAGEN
Zonas urbanas	Azul más o menos claro + blanco, según la densidad de edificaciones
Canteras, roca desnuda, arenas y dunas	Blanco
Vías de comunicación (carreteras, vías férreas)	Azul oscuro, gris
Nieve, glaciares, nubes	Blanco, blanco-azulado
Salinas	Blanco, gris, cian
Superficies de agua	Negro (también sombra producida por las nubes), verde-azulado, más o menos claro, según la profundidad y la turbidez.
Cultivos anuales	Rojo, gris-rosado (cultivos recolectados), azul-blanco, rojo-vivo (regadíos)
Cultivos permanentes	Rojo-rosa
Bosques de caducifolias	Rojo-vivo
Bosques de coníferas	Marrón-Rojo
Praderas y prados	Rosa vivo, rojo claro
Zonas húmedas	Negro o rojo muy oscuro
Pastos pobres	Gris-amarillo, gris-rosa, marrón claro
Zonas incendiadas	Negro, gris oscuro, azulado

Tabla 3.VI: Ejemplos de claves para la identificación de algunas categorías de ocupación del suelo a partir de imágenes Landsat en falso color, con la combinación de bandas 4, 5, 3 en RGB.

EL SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE MARRUECOS

EL proyecto MEDGEOBASE está destinado a generar un sistema de información de datos sobre el medioambiente para dar servicio a múltiples usuarios. No es, por tanto, una fotografía fija en el tiempo sobre el medioambiente del Mediterráneo. En el caso de Marruecos, su objetivo es ser una herramienta permanente de servicio para las instituciones del país con competencias en materia de Medio Ambiente, con el fin de mejorar la vida de los marroquíes.

En general, un sistema para la descripción de los paisajes esta destinado a informar sobre una situación geográfica de una región en un instante dado. En particular, el objetivo principal del Sistema de Información Ambiental de Marruecos es poder ofrecer una descripción de los ecosistemas que constituyen los paisajes costeros mediterráneos y atlánticos.

El principal elemento de un sistema de información ambiental es una buena base de datos sobre la ocupación del suelo. Según hemos visto en las secciones anteriores, el objetivo del proyecto MEDGEOBASE es precisamente poner en marcha una base de datos numérica sobre la ocupación del suelo según la norma europea utilizada en el programa CORINE. La base de datos geográfica representa una información muy importante para Marruecos, porque permitirá poner a punto una infraestructura para la medida de la evolución de los ecosistemas marroquíes. Es una manera de asegurar el control permanente del patrimonio natural nacional.

La extensión de este sistema de información contribuirá a contar con un dispositivo de vigilancia del medioambiente, una componente esencial para el desarrollo sostenible.

La producción de la base de datos costeros, una vez terminada, puede dar soporte a numerosas aplicaciones sobre el litoral, como veremos.

Las características más importantes de la base de datos son:

- Escala 1:100.000.
- Superficie máxima representable de 25 ha.
- Ocupación de suelo jerarquizada en 60 clases.
- Clases temáticas adaptadas al contexto geográfico mediterráneo.

Con la entrega del proyecto, las personas pertenecientes al Ministerio del Medio Ambiente se encargaran de manejar y gestionar esta base de datos y las aplicaciones que se deriven del uso del mismo.

Del proyecto conviene destacar los siguientes puntos:

- Participación multidisciplinar:

El desarrollo del proyecto exigió la participación multidisciplinar de diferentes instituciones nacionales y extranjeras especializadas, en función de las especificaciones haciendo un especial énfasis a las competencias respectivas de cada uno.

A nivel nacional, gracias a la participación pluridisciplinar se tiene la posibilidad de abordar los problemas medioambientales desde un punto de vista más próximo a la realidad de las preocupaciones de las instituciones responsables. Así, por ejemplo, el estudio en Marruecos del problema de la presión sobre los suelos permite la colaboración de instituciones regionales con el Instituto Real de Agricultura de Rabat,

competente en materia de ingeniería agrícola. En otro caso, los problemas ligados a la evolución de las aguas superficiales y subterráneas se resuelven gracias a la colaboración entre los servicios con competencias en materia de aguas (Agencias de Cuencas) y profesionales externos (Universidades, etc.)

- Medios generales utilizados:

El país está dividido en unidades administrativas regionales llamadas "Willayas" cuyas responsabilidades se extienden a múltiples intervenciones en materia de gestión del territorio.

La utilización adicional de imágenes satélite y el uso de criterios específicos, permitió generar información comparativa sobre la evolución cualitativa de los suelos y de las cubiertas vegetales.

La utilización de datos exógenos existentes compatibles con la base de datos Medgeobase permitirá un ahorro de tiempo considerable en la realización de estudios futuros. En la siguiente sección, daremos una breve descripción de las aplicaciones temáticas que pueden realizarse a partir de información digital generada en este proyecto.

- Extensión futura:

La base de datos presente, tiene información sobre una parte del litoral marroquí, para ser plenamente operacional. Esta base de datos debería extenderse sobre el conjunto del litoral del territorio nacional. A falta de la disponibilidad inmediata de todos los datos, ampliaciones parciales podrían ser programadas en un corto plazo teniendo en cuenta las prioridades regionales y/o nacionales. Estas extensiones pueden ser conducidas por las Willayas u otra unidad administrativa o geográfica coherente.

A medio plazo podría ser contemplada una base de datos integral de forma análoga a la política de información cartográfica gestionada en otros países del Magreb. Esto permitiría extender la acción analítica de este sistema de información de forma eficaz.

- El problema de actualización:

Este punto es actualmente objeto de investigación por parte de la comisión de la U.E. en el marco del programa CORINE Land Cover. Los aspectos técnicos y administrativos están en el de puesta a punto a nivel Europeo. Al final, el proyecto MEDGEOBASE en Marruecos deberá ser objeto de la actualización con una metodología y periodicidad apropiadas. Actualmente trabajan numerosos expertos en proyectos pilotos con el objeto de aprovechar los resultados del MEDGEOBASE dentro del Centro Temático Land Cover con sede en Suecia perteneciente a la Agencia Europea de Medio Ambiente.

Con la experiencia adquirida en materia de base de datos medioambientales, podrá ser factible que el propio Ministerio de Medio Ambiente marroquí, englobado en el marco de proyectos futuros, asegure la continuidad del sistema.

1.9. PRODUCTOS OBTENIDOS

Las diferentes fases del proyecto han conducido a la generación de la base de datos medioambientales "**Medgeobase Marruecos**". La resolución espacial de la base de datos, estimada en 100 metros, permite condiciones de explotación óptimas a escalas medias (iguales o inferiores a 1:100.000, como por ejemplo 1:200.000 o 1:500.000).

Los datos están organizados en coberturas **Arc-Info**, con estructura arco-nodo y topología de polígonos. La tabla de atributos de los polígonos contiene una columna con el atributo "CODE" que corresponde a los valores del código CORINE Land Cover para cada polígono, hasta el nivel 4. La nomenclatura es la indicada en la sección 3.2.3.1 (página 47).

Los datos están disponibles en el formato de intercambio de Arc-Info (ficheros con la extensión **e00**) no comprimidos. Son un total de 63 hojas, proyectadas en las dos zonas Lambert en que está dividido Marruecos (55 hojas en la proyección Lambert I y 8 en la Lambert II).

Estos datos se pueden consultar en el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), C/ General Ibañez de Íbero nº 3 - 28003 MADRID, Tfno. 91-597.94.53, Fax: 91-553.29.13. Para cualquier consulta se puede dirigir a:

CNIG: <http://www.cnig.ign.es>

E-mail: webmaster@cnig.ign.es o consulta@cnig.ign.es

Área de Teledetección: IGN_Teledeteccion@mfom.es

1.10. EQUIPO TÉCNICO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto es financiado por la Unión Europea a través del Programa MEDSPA, el Banco Mundial mediante el programa METAP, el IGN/CNIG de España y el ONEM-Ministerio de Medioambiente de Marruecos.

La ejecución y la gestión del proyecto han sido realizadas por los equipos multidisciplinares siguientes:

EUROMED. GEIE (U.E)
ONEM - Ministerio de Medioambiente (Reino de Marruecos)

EUROMED. GEIE

M. Alain Couzy, Co-Gerente del Grupo EUROMED y miembro del IGN
Francia Internacional - Francia
Mme. Manuela Santa María, Co-Gerente del Grupo EUROMED
perteneciente al CNIG de Portugal

Organismos integrantes

- **Centro Nacional de Información Geográfica (Portugal)**
- **Instituto Geográfico Nacional / Centro Nacional de Información Geográfica (España)**
- **IGN Francia Internacional (Francia)**
- **Nuova Telespazio (Italia)**

Organismo Director del Proyecto

Instituto Geográfico Nacional / Centro Nacional de Información Geográfica
(España)
(IGN/CNIG)-España

Director de Proyecto

Antonio Arozarena Villar, Jefe de Area de Teledetección del IGN de España

Coordinadores técnicos del Proyecto

Isabel del Bosque González, Area de Teledetección del IGN - España
Guillermo Villa Alcázar, Area de Teledetección del IGN - España

Equipos Técnicos de Ejecución

MINISTERIO DE MEDIOAMBIENTE - MARRUECOS DIRECTION DE L'OBSERVATION, DES ETUDES ET DE LA COORDINATION

Bani Layachi, Directora

OBSERVATOIRE NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT

Ezedine Hadj-Mabrouk, Consejero técnico principal
Mdarhri Alaoui El Kebir
Saida Bourous
Mokhtar Begdouri
Amal Moufarreh
Lofti Elm'Ghazli

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL - ESPAÑA Área de Teledetección

Responsable del Equipo
Antonio Arozarena, Jefe de Area

Equipo Técnico

Proceso digital de imágenes y digitalización

Sección de Producción, jefa de sección Isabel del Bosque:

Carlos Saínz

Purificación Escobar

Gema Hernández

Nieves Gómez

Eduardo Martín

Sección de desarrollo, jefe de sección Guillermo Villa:

Santiago Alvarez

Fernando Serrano

Apoyo Técnico: J. Ignacio López de Silanes y Juan A. Ardizone

CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA - PORTUGAL

Rui Conçalves Henriques, presidente

Miguel Pereira

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL FRANCIA INTERNACIONAL FRANCIA

Alain Couzy

Michel Bossard

Frédéric Dupond de Dinechin

SIT EAU ET ENVIRONNEMENT (SITEE)- FRANCIA

Yves Heymann

NOUVA TELESPAZIO- ITALIA

Marcello Ricottilli, Jefe del departamento de Observación de la Tierra

Guido Giulio Boarelli

Gianluca Lazzerini

4. APLICACIONES POTENCIALES Y CONCLUSIONES

POTENCIAL TEMÁTICO DE MEDGEOBASE

Dado que el proyecto MEDGEOBASE ha generado una base de datos regional actualizada de la ocupación del suelo en la franja litoral del país, esto permitirá realizar numerosos estudios dentro de campos muy diversos con relación al medioambiente marroquí.

Podremos distinguir aplicaciones que han permitido a los ingenieros del ONEM tomar a su cargo la gestión, evolución y explotación de la base de datos, aplicaciones potenciales ofreciendo a los diversos servicios nacionales y regionales interesados información mediante la explotación del sistema.

En particular, dentro del marco del proyecto, se crearon dos aplicaciones con carácter pedagógico para pasar de la práctica teórica de las bases de datos geográficos a la creación de aplicaciones específicas. El equipo de ingenieros del ONEM se dividió en dos grupos, uno de ellos dedicado a la aplicación de análisis espacial y el otro a aplicaciones cartográficas. Estas aplicaciones se exponen en los puntos 4.1.1 y 4.1.2, correspondiendo los siguientes a otros estudios temáticos posibles.

Aplicación de análisis espacial

Este grupo tuvo por objeto preparar un estudio simulando la propuesta de un esquema de sector del Medio Ambiente a lo largo del río Oued Sébou, en el entorno de la ciudad de Kénitra. Los participantes prepararon un documento de síntesis simulando un plan director de la protección del río.

La cuenca del río Sébou, que está situada al noroeste de Marruecos, cubre una superficie aproximada de 40.000 km² (equivalente al 5,5 % de la superficie total del territorio nacional), con una población de 4,9 millones de habitantes, es decir, el 17 % de la población marroquí.

Constituye una de las regiones más importantes del país desde el punto de vista económico: agrícola (190.000 hectáreas de regadío), industrias (azucareras, almazaras, cementeras, curtidoras, ...), y grandes poblaciones (Fès, Meknès Kénika, etc.). Estas actividades producen un nivel importante de contaminación sobre la cuenca (aguas, suelos, aire), así como una degradación de recursos naturales en la misma. Teniendo en cuenta el papel crucial de esta zona geográfica para el país y el número de personas afectadas, la cuenca del Sébou se consideró como área prioritaria para el seguimiento del medioambiente.

Este trabajo consistió en la delimitación de perímetros a lo largo del río (4 km) y para las principales zonas de actividades humanas (poblaciones, áreas industriales, instalaciones portuarias y aéreas, etc.) excluyendo las áreas periurbanas ya en vías de transformación.

Se definieron tres zonas: Kénitra, Sidi Yahia y Sidi Allal Tazi. Sobre cada una de ellas, se realizaron análisis estadísticos con el fin de determinar cuantitativa y cualitativamente la distribución de tierras situadas a una distancia crítica de las áreas de actividad humana, pero contenidas en el perímetro de protección del Oued inicialmente definido.

Estos análisis sirvieron para determinar el predominio de ecosistemas tipo situados en una zona crítica y con una predisposición a una degradación potencial. Después de la preparación de los equipos informáticos, los ingenieros unieron nuevas coberturas extraídas de la base de datos sobre la región del Gharb.

El equipo definió las zonas de actuación posibles, con el fin de diseñar un esquema para la protección de las áreas sensibles del Oued.

Aplicación cartográfica

Este grupo tuvo como tarea el terminar la preparación de dos coberturas cartográficas, sobre la base de datos a escala 1:100.000 de MEDGEOBASE. Los ingenieros asignados a este grupo prepararon un mapa basado en el modelo estándar marroquí de la cartografía a escala 1:100.000, de manera que sea posible un proceso de gestión automatizado de la base de datos. Se procedió a la preparación de un modelo de proyección según los parámetros adoptados por el MEDGEOBASE marroquí.

La aplicación creada posibilita generar de forma automática las bases de datos pudiendo instantáneamente acceder a una o varias hojas del catálogo de mapas disponibles.

Así mismo, este tipo de aplicación podrá servir para la localización de terrenos agrícolas clasificados por el MEDGEOBASE según un criterio cualitativo del rendimiento de la explotación. El examen de las tierras agrícolas según este criterio, permitirá definir un índice a partir del cual se pueden realizar estudios con relación al ritmo del uso de la tierra.

Gestión del territorio, dinámica urbana y periurbana

MEDGEOBASE es un tipo de base de datos compatible con la elaboración de documentación sobre la evolución de las planificaciones realizadas por las instituciones territoriales regionales.

Existen numerosos ejemplos de referencia en Europa. Un marco de referencia numérico puede servir de base para la elaboración de planes urbanísticos regionales, poniendo énfasis en la orientación de las autoridades en materia de gestión del territorio y protección de los espacios naturales.

Estas técnicas se han utilizado recientemente sobre documentos urbanísticos regionales franceses. Una referencia compatible con la escala de restitución adaptada a las grandes metrópolis del país, constituye una base cartográfica indispensable para la realización de tales documentos. Se podrá generar una gran cantidad de información en colaboración con los institutos estadísticos nacionales o regionales.

Evolución de la cubierta forestal

El empleo de técnicas automáticas de teledetección permite comparar rápidamente la evolución cualitativa de macro espacios forestales (coníferas / caducifolias), de los bosques y las talas realizadas en los mismos.

MEDGEOBASE permitirá la realización de estudios forestales a la escala administrativa de la Wilaya, confirmando o no la tendencia de la presión antrópica ejercida sobre espacios sensibles.

Presión antrópica, deforestación y desertificación

El propósito de este tipo de aplicaciones es analizar la dinámica del suelo evaluando la evolución de la cobertura vegetal en función del ecosistema encontrado, de su evolución en el tiempo. Es por ello que suele decirse de este tipo de aplicaciones, que se refieren a la cuarta dimensión.

Para ello será necesario la realización de balances de la evolución de la ocupación del suelo, confrontados con los índices de agresividad dinámica ligados al

clima, a los suelos (calidad dinámica de los suelos), a las aguas superficiales o al relieve (pendientes).

Estas aplicaciones requieren la integración de un Modelo Numérico del Terreno (MNT) derivados de imágenes de satélite. Ciertas imágenes como las producidas por el satélite japonés JERS 1, el satélite indio IRS-1C o el francés SPOT, permiten obtener simultáneamente un MNT a un coste reducido. Esto ofrece la posibilidad de integrar, con un alto grado de precisión cartográfica, análisis multitemporales del efecto general sobre el suelo.

Se pueden obtener, así mismo, mapas de erosionabilidad climática, que proporcionan estadísticas de las zonas en peligro potencial, en las que los suelos se encuentran amenazados por el efecto conjugado de la agresividad del clima y de una presión antrópica excesiva.

Agricultura intensiva y vigilancia de la calidad de aguas

Entre las funciones que corresponden al organismo público de un país con competencias en materia de medioambiente, se encuentra el análisis y la evaluación de las decisiones estratégicas para el desarrollo de políticas sectoriales que muestren una influencia específica sobre la ordenación del territorio y el medioambiente. Dicho análisis no puede ser posible sin el apoyo de una información completa y actualizada del medio físico a escala nacional. Si tenemos en cuenta que los mapas de ocupación del suelo reflejan la interacción del hombre con el medioambiente que le rodea, se hace especialmente imprescindible cuando se trata de gestionar un recurso natural tan importante como es el agua.

El agua constituye un recurso natural básico en la gestión estratégica del territorio. En el caso del litoral marroquí, la mayor parte de sus regiones tienen hipotecado su desarrollo a la dependencia del agua, escasa e insuficiente para la demanda actual y futura.

En estas condiciones, es evidente la necesidad de contar con una información objetiva, precisa y sobre todo oportuna, de las variaciones tanto geográficas como temporales de los recursos hídricos del país.

Además, si tenemos en cuenta que la demanda de agua por parte de las explotaciones agrícolas es del orden del 80 %, y si añadimos a esta cifra que la reutilización del agua es muy alta para otros usos y poco significativa en el caso de los regadíos, podemos asegurar que hay una relación directa entre la gestión de dicho recurso, como bien económico, social y ambiental, y el control de las superficies utilizadas para regadíos.

Con respecto a la calidad del agua, la puesta a punto de un indicador específico para la dinámica del agua, comparada con los puntos de sondeo de la concentración de sales en suelos, será el punto de partida de los mapas sintéticos que representen un posible índice de concentración de nitratos.

Se debe destacar, sin embargo, que este tipo de estudios servirá de entrenamiento, durante un tiempo y en áreas de especial importancia, para los especialistas en Medio Ambiente. Los procedimientos permitirán una aproximación a la problemática de la eutrofización (proliferación de compuestos orgánicos debidos a una alta concentración de NO₂, ligada a la nitrificación de los suelos).

Todo lo descrito en esta sección, constituye una pequeña parte de las aplicaciones posibles. La búsqueda de la problemática merece una consulta más profunda del estudio, los servicios a los que el sistema de información tendría que

orientarse. Por lo tanto, los medios técnicos, la experiencia local, nacional o internacional, deberían ser evaluadas antes, ponerse a definir un verdadero sistema de información medioambiental operativo, basado en la información espacial generada por el proyecto MEDGEOBASE

CONCLUSIONES

El proyecto MEDGEOBASE ha tenido dos objetivos principales:

- 1) Por una parte, se ha generado una base de datos sobre la franja litoral que cubre algo más de 91.700 km². La calidad geométrica y semántica de esta base de datos es una referencia en Marruecos.

Esta base podrá, en efecto, servir de soporte a la mayor parte de los proyectos de gestión y protección del medioambiente sobre el litoral marroquí.

- 2) Por otra parte, un equipo de ingenieros del ONEM se ha formado en fotointerpretación, en digitalización y en la utilización de base de datos digitales. El ONEM hace el mantenimiento en el sentido de generar, enriquecer y de poner al día la base de datos inicial. Las aplicaciones realizadas por dicho organismo después de la segunda fase de asistencia técnica se han hecho significativas.

El ONEM dispone hoy de una herramienta que realiza esta tarea perfectamente. Parece interesante realizar el mantenimiento del sistema según las expectativas a medio y largo plazo; en este sentido se pudieron fijar dos objetivos.

En primer lugar, es esencial poner en marcha un objetivo para poder valorar la base de datos. Se trata de mostrar, para aplicaciones concretas, el valor y la utilidad de los resultados del proyecto MEDGEOBASE para el ONEM y, en general, para el Ministerio de Medio Ambiente. Este trabajo puede ser gestionado inspirándose en otros realizados en Europa sobre CORINE Land-Cover. Estos desarrollos de valorización del MEDGEOBASE se inscriben en la continuidad del trabajo, gestionado bajo el esquema de asistencia técnica. Se utilizarán al máximo las metodologías definidas sobre las realizaciones de aplicaciones.

En segundo lugar, será interesante completar el MEDGEOBASE para la cobertura total del país. La base sería entonces la continuidad y homogeneización completa de todo el territorio. Esto será lo que convertirá el MEDGEOBASE en una herramienta privilegiada para políticas de gestión y protección del Medio Ambiente.

La metodología desarrollada en el proyecto CORINE Land-Cover y aplicada en el MEDGEOBASE-Marruecos ofrece una respuesta idónea en costos de tiempo y trabajo para la obtención de una cartografía de usos del suelo en un área de gran importancia medioambiental como son los países mediterráneos.

Finalmente, es de destacar la gran preocupación que la UE manifiesta en el conocimiento del territorio y del Medio Ambiente, tanto en los países miembros como en los limítrofes, con una especial dedicación a la cuenca del Mediterráneo. La existencia de mecanismos jurídico-administrativos dentro de la UE para la materialización de este tipo de proyectos, como la constitución de los "Grupos Europeos de Interés Económicos" (G.E.I.E).

5. IMÁGENES Y FIGURAS

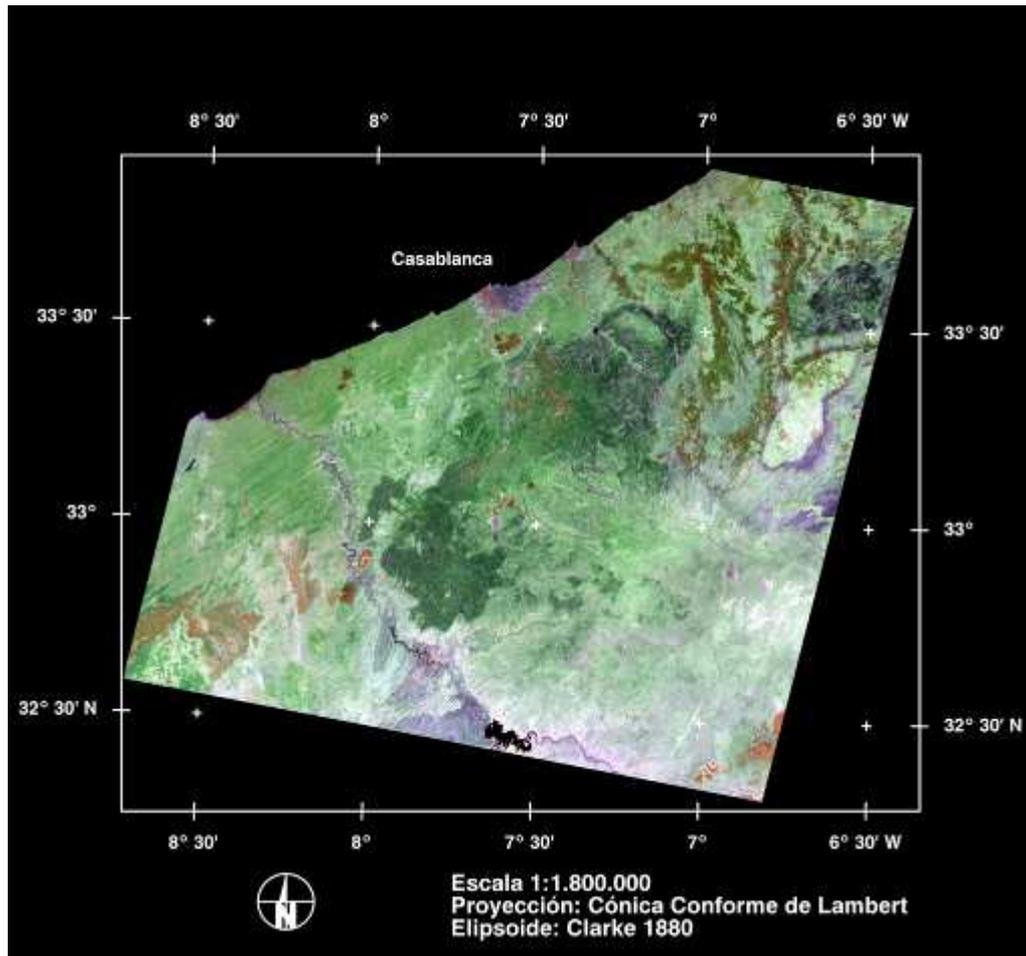


Figura 5.1: Escena Landsat - TM 202-37 correspondiente a la zona de Casablanca, una vez que ha sido georreferenciada. La combinación de bandas es la 4, 5, 3 en RGB, utilizada para la fotointerpretación.

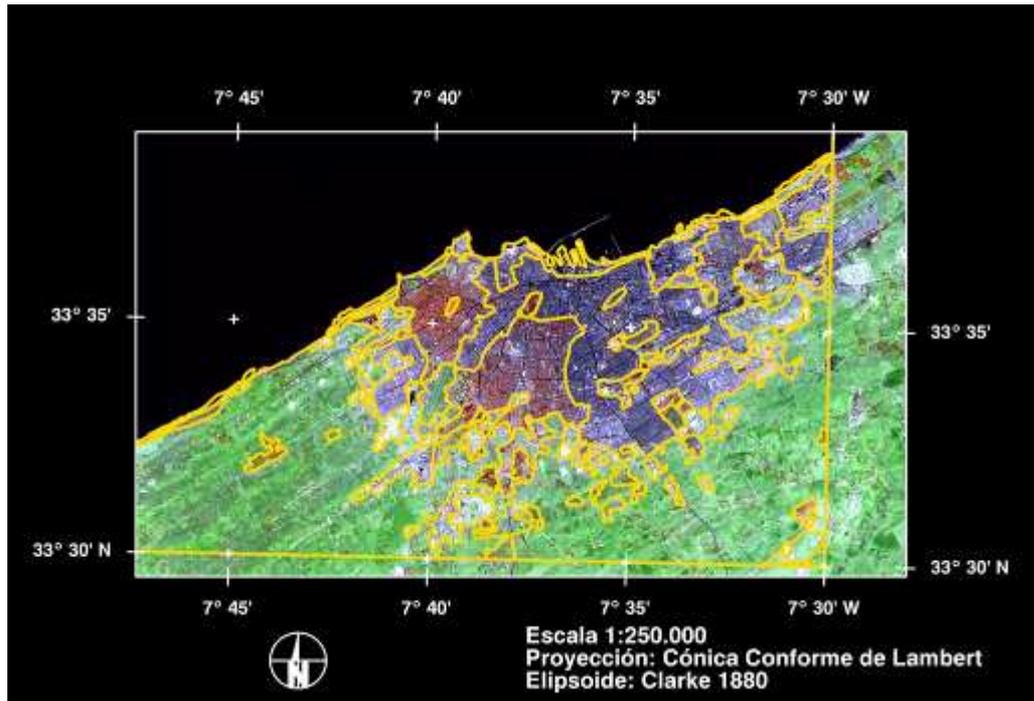


Figura 5.2: Sobre la imagen Landsat anterior se muestra superpuesto el mapa de ocupación del suelo resultante de la fotointerpretación. Hoja de Casablanca.

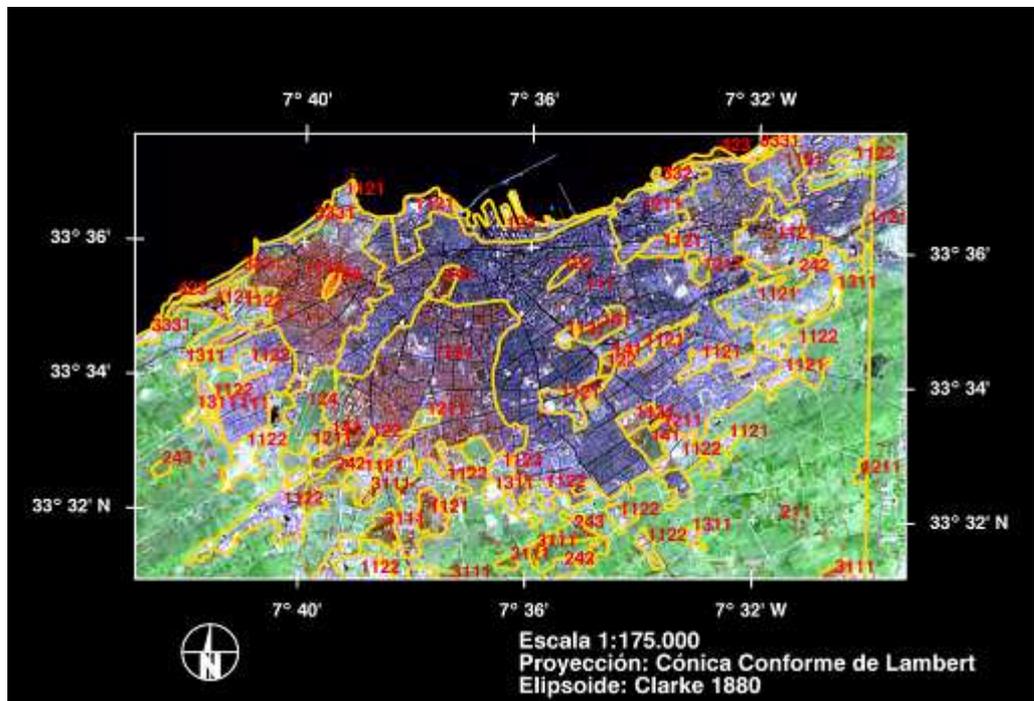


Figura 5.3: Se muestra la base de datos asociada a cada polígono, mostrando la clase que contiene dicho polígono (números en rojo).



Figura 5.4: La georreferenciación de las imágenes se realizó según la cartografía oficial de Marruecos. Aquí se muestra parte de la hoja 1:100.000 de Tetuán

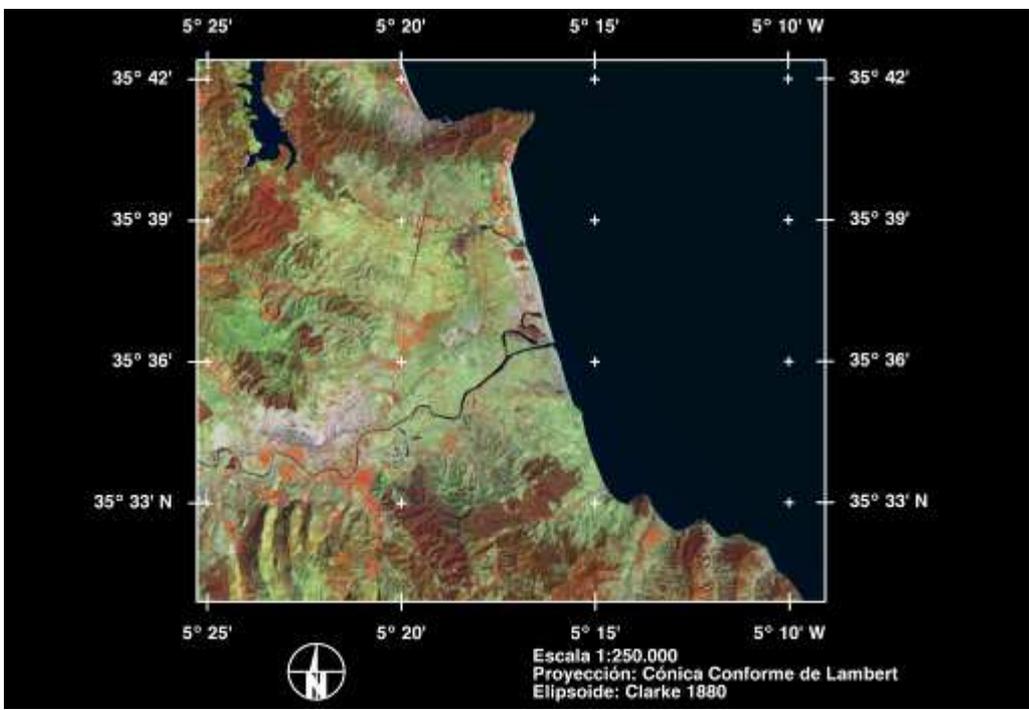
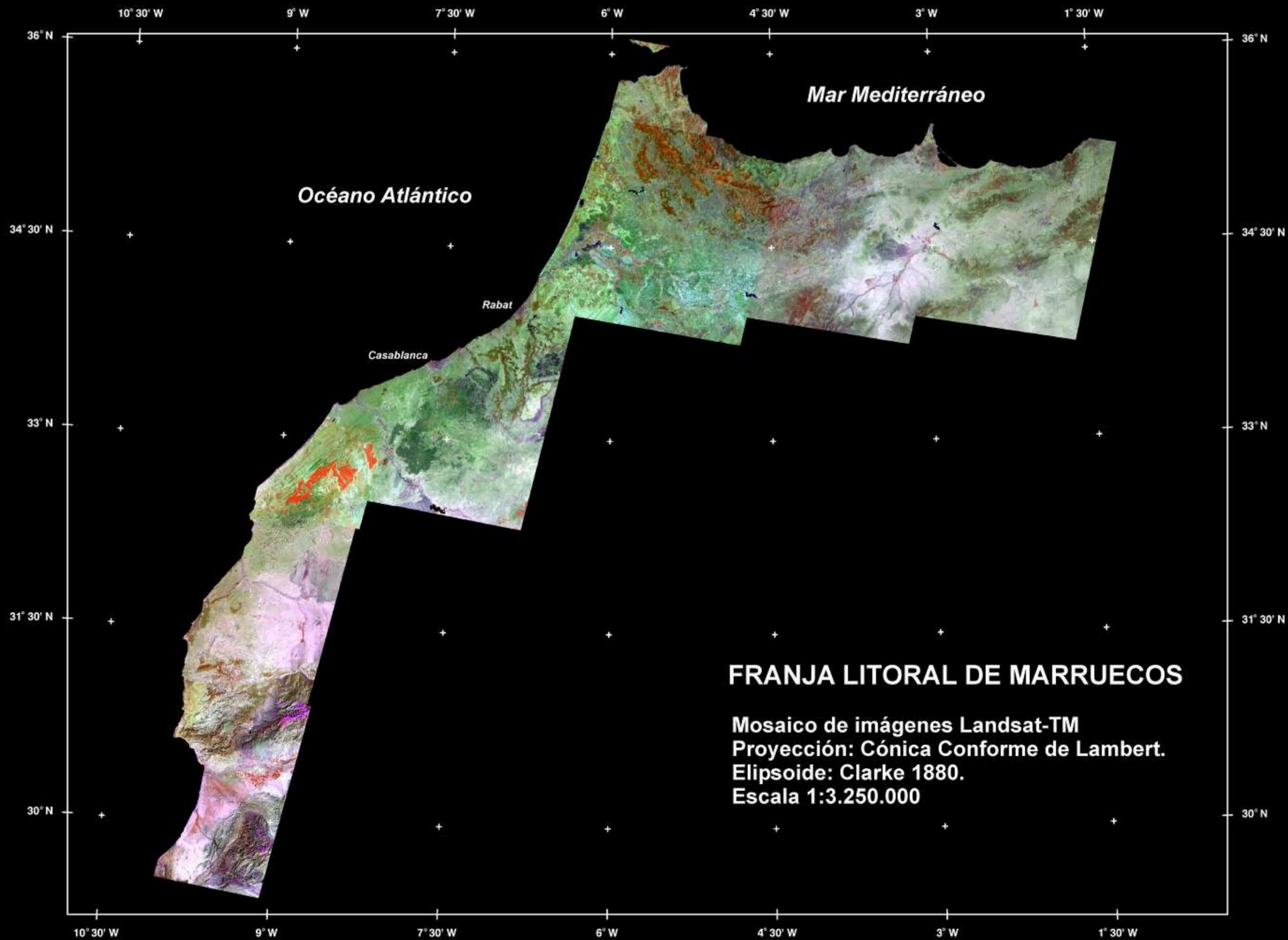
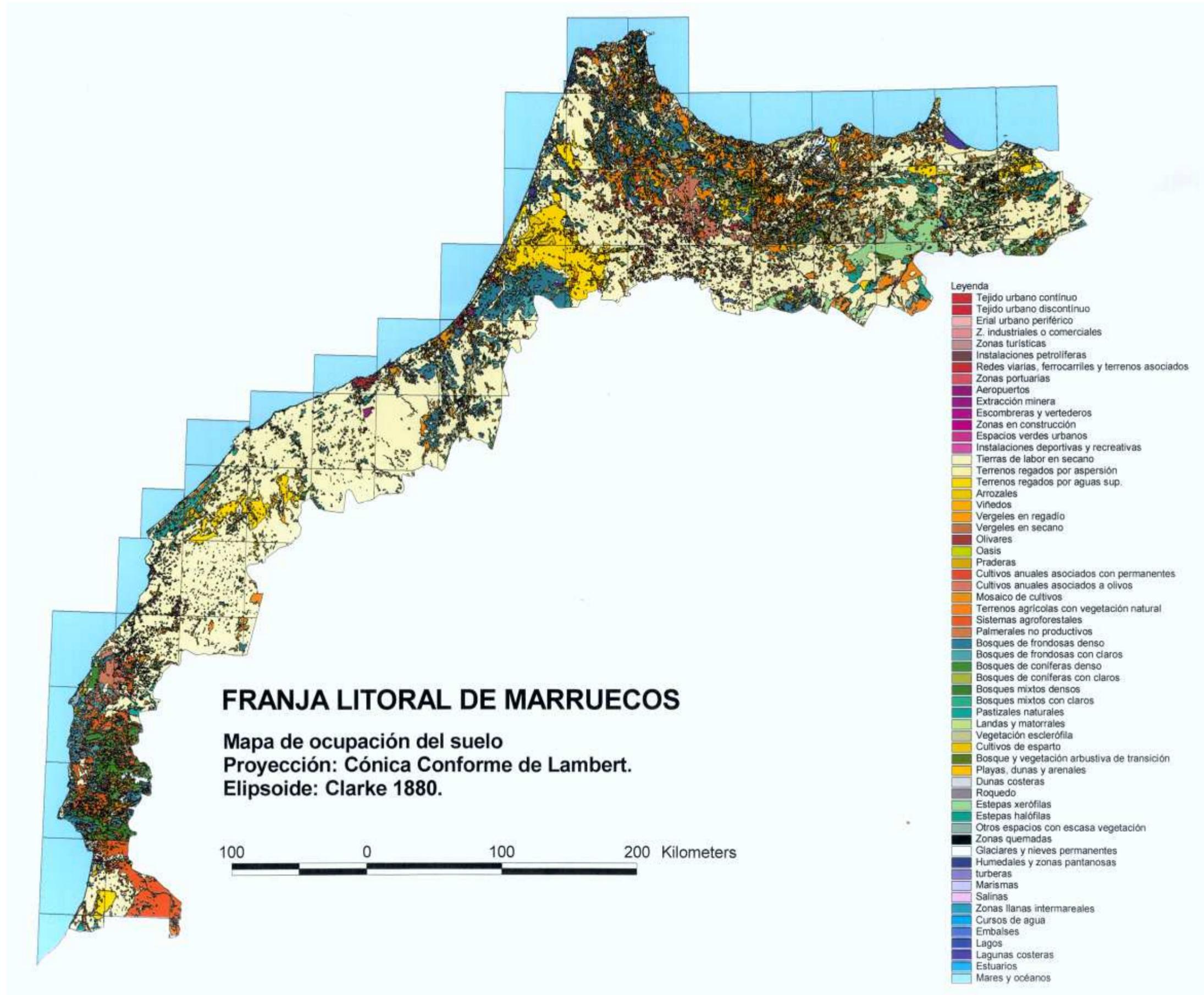


Figura 5.5: Subescena Landsat que muestra la misma zona que el mapa de la figura anterior, en los alrededores de la ciudad de Tetuán. Puede apreciarse el embalse que aparece en la imagen y no está reflejado en la cartografía.





6. GLOSARIO DE TÉRMINOS

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ALBEDO ("ALBEDO"): Fracción de la energía total incidente en un material que es reflejada en todas direcciones.

ARTEFACTO ("ARTEFACT"): Una característica o rasgo de una imagen que es producida por la óptica de un sistema o por un proceso digital de imagen, en la mayoría de los casos enmascara las características reales.

AVHRR ("Advanced Very High Resolution Radiometer"): Sistemas de imágenes multiespectrales a bordo de los satélites TIROS-NOAA.

BANDA ("BAND"): Es el rango de longitudes de onda en los cuales es captado un determinado dato.

BANDA DE ABSORCIÓN ("ABSORPTION BAND"): Un rango de longitudes de onda del espectro Electromagnético donde un material absorbe energía Electromagnética que llega hasta él.

BARREDOR MULTIESPECTRAL ("MULTISPECTRAL SCANNER"): Instrumento no fotográfico de barrido que simultáneamente registra información de la misma escena en diferentes bandas espectrales. Los barredores más conocidos y utilizados son los que llevan los satélites del sistema Landsat 1, 2 y 3 que barren una franja de la superficie terrestre de 185 km de ancho.

BINARIO ("BINARY"): Sistema numérico que usa la base 2 ó binaria.

BIT ("BIT"): Abreviatura del término inglés "binary digit", el cual se refiere a un exponente de 2. Un BIT representa un 0 ó un 1 en un ordenador.

BYTE ("BYTE"): Un grupo de 8 bits de un dato digital en forma binaria. Un byte representa números digitales desde 0 a 255, es el estándar adoptado por la mayoría de los sistemas de Teledetección para codificar los valores de energía captados en las imágenes.

BORDE ("EDGE"): Un límite dentro de una imagen que separa zonas de tonalidad diferente.

CABECEO ("PITCH"): Rotación de una aeronave alrededor de su eje horizontal perpendicular a su eje longitudinal que causa una actitud de inclinación hacia arriba o hacia abajo.

CAMPO INSTANTANEO DE VISTA ("IFOV: INSTANTANEOUS FIELD OF VIEW") : El ángulo sólido a través del cual un detector es sensible a la radiación.. Forma el límite de resolución en los sistemas de imagen y el tamaño de un punto imagen es proporcional al IFOV y a la altura del vuelo

CARGA UTIL ("PAYLOAD"): La parte de la carga de la aeronave, cohete, satélite o globo que es necesaria para el cumplimiento de la misión específica.

CELULA DE RESOLUCION ("RESOLUTION CELL"): El más pequeño objeto en el terreno distinguible en la imagen producida por un sensor o barredor.

CENIT ("ZENITH") Punto de la esfera celeste directamente sobre el observador. Punto opuesto al NADIR.

CFC ("CFC"): gases compuestos por flúor, cloro y carbono, conocidos como clorofluorocarbonos, que pierden la estabilidad cuando se ven sometidos a las radiaciones ultravioletas en las capas intermedias de la atmósfera, liberándose los átomos de cloro, que atacan a las moléculas de ozono reduciéndolas a oxígeno.

CLASIFICACION ("CLASSIFICATION") Ordenamiento o categorización de objetos por medio de criterios establecidos tales como tamaño, función o color. Proceso de asignar píxeles individuales a diferentes categorías en una imagen multiespectral, generalmente con base en sus características de reflectancia espectral.

CLASIFICACION DE CAMPO ("FIELD CLASSIFICATION"): Etapa del proceso de cartográfico que consiste en identificar y dar nombre *in situ* a todos los elementos naturales y artificiales que aparecen en una imagen o fotografía. Esta información se utiliza posteriormente en la compilación final del mapa.

CLASIFICACION NO SUPERVISADA ("UNSUPERVISED CLASSIFICATION"): Método de clasificación de los datos de una imagen multiespectral cuando se utilizan clases de entrenamiento que han sido definidas por análisis de grupos.

CLASIFICACION SUPERVISADA ("SUPERVISED CLASSIFICATION"): Método de clasificación de una imagen multiespectral cuando se utilizan clases de entrenamiento de identidad conocida y que han sido proporcionadas al sistema por el usuario.

COBERTURA ("COVERAGE"): Área del terreno cubierta por fotografías aéreas, mosaicos, etc.

COLORES ESPECTRALES ("SPECTRAL COLORS"): Color visible en el espectro de la luz blanca. Los siete colores del espectro visible son: violeta, índigo, azul, verde, amarillo, naranja y rojo.

COMPENSACION ("ADJUSTMENT"): La determinación y aplicación de correcciones a las observaciones, con el fin de reducir errores o eliminar inconsistencias internas en resultados posteriores. Los valores obtenidos se llaman valores compensados. También se llama ajuste.

COMPONENTE PRINCIPAL ("PRINCIPAL COMPONENT"): En el procesamiento digital, la imagen producida por una transformación que reconoce la varianza máxima en imágenes multiespectrales

decorrelacionando sus bandas respectivas. Este método elimina la redundancia entre bandas

COMPRESION DE DATOS ("DATA COMPRESSION"): Cualquier proceso para incrementar la cantidad de datos que pueden almacenarse en una ubicación dada, o para disminuir el espacio que se necesita para almacenar una cantidad de datos.

COMPRESION DE IMAGEN ("IMAGE COMPRESSION"): Operación por la cual se conserva toda o casi toda la información de una imagen y que reduce la cantidad de memoria necesaria para almacenarla , o reduce el tiempo necesario para transmitirla.

CONFECIÓN DE MOSAICOS ("MOSAICKING"): Acción de ensamblar fotografías o imágenes para conseguir una imagen continua.

CONTRASTE ("CONTRAST"): En una imagen digital, la diferencia entre el valor máximo y mínimo de los pixeles que lo conforman.

COORDENADAS CARTESIANAS ("CARTESIAN COORDINATES"): Sistemas de coordenadas en el que la posición de los puntos se expresa con referencia a tres planos llamados planos de coordenadas, entre los que no hay dos planos que sean paralelos.

COORDENADAS ESPACIALES ("SPACE COORDINATES"): Un sistema tridimensional de coordenadas rectangulares en el cual las coordenadas "X" e "Y" caen en un plano de referencia tangente a la tierra en un punto seleccionado y las coordenadas "Z" son perpendiculares a dicho Plano. Este sistema se usa en la extensión de control horizontal y vertical a lo largo de una serie de fotografías verticales con solape desde un punto inicial de tangencia del plano de referencia. El uso del termino coordenadas espaciales debe ser estrictamente limitado a un sistema tridimensional de coordenadas rectangulares que no ha sido ajustado a los datos de control horizontal y vertical. También se le llama coordenadas aéreas.

COORDENADAS GEODÉSICAS ("GEDETC COORDINATES"): Cantidades que definen la posición de un punto sobre el elipsoide de referencia con relación al plano ecuatorial (latitud) y al meridiano origen (longitud)

COORDENADAS GEOGRAFICAS ("GEOGRAPHIC COORDINATES"): Un sistema de coordenadas esféricas para posicionar puntos sobre la superficie de la Tierra. Las declinaciones y rumbos polares en este sistema son las latitudes y las longitudes.

CORINE ("CORINE"): Acrónimo de "Coordination of Information on the Environment".

CORRECCIÓN ATMOSFERICA ("ATMOSPHERIC CORRECTION"): Restauración de medidas de radiación que compensa los efectos de dispersión y absorción de la radiación electromagnética por la atmósfera.

CORRECCIÓN GEOMÉTRICA ("GEOMETRIC CORRECTION"): Eliminar errores geométricos en una imagen de tal manera que esté de acuerdo con determinado sistemas de coordenadas. Esto involucra la creación de una nueva imagen digital por remuestreo de la imagen original. También se le llama transformación geométrica.

CORRECIÓN RADIOMÉTRICA ("RADIOMETRIC CORRECTION"): Ajuste que se le da a los datos para convertir los datos primarios en un conjunto de medidas radiométricamente consistentes. Una corrección radiométrica puede ser usada para compensar las irregularidades del sistema sensor o variaciones del medio ambiente.

COVARIANZA ("COVARIANCE"): La medida en que dos variables cambian su relación entre ellas mismas. Si valores grandes de "Y" tienden a estar asociados con valores grandes de "X", la covarianza es positiva. Si valores grandes de "Y" tienden a estar asociados con valores negativos de "X", la covarianza es negativa. Cuando no hay asociación particular entre los valores de "Y" y de "X", el valor de la covarianza se acercará a cero.

CUERPO GRIS ("GREY BODY"): Superficie radiante cuya radiación tiene básicamente la misma distribución de energía espectral que la de un cuerpo negro a la misma temperatura, pero cuya potencia de radiación es menor.

CUERPO NEGRO ("BLACK BODY"): Objeto ideal que absorbe completamente todas las radiaciones que inciden sobre él en todas las frecuencias cualesquiera que sea su naturaleza o dirección y que irradia energía electromagnética solamente en función de su temperatura.

CURVA CARACTERÍSTICA ("CHARACTERISTIC CURVE"): Llamada también curva SENSITOMÉTRICA, muestra la relación entre el tiempo de exposición y la densidad resultante en la imagen fotográfica. También se le llama curva de H y D, curva sensitométrica y DlogE. Esta curva es específica para cada película o papel fotográfico.

DATOS ANALÓGICOS ("ANALOG DATA"): Datos representados en forma continua en contraste con los datos digitales que tienen valores discretos.

DATOS AUXILIARES ("ANCILLARY DATA"): En Teledetección, son los datos secundarios pertenecientes a un área o clase de interés, como el caso de los datos topográficos, demográficos, climatológicos, etc. Estos datos se pueden digitalizar y usarse en el proceso de análisis conjuntamente con los datos primarios.

DATOS DIGITALES ("DIGITAL DATA"): Datos representados por una serie de caracteres codificados. También que pertenece o esta relacionado con los datos en forma de dígitos numéricos.

DATOS MULTIESPECTRALES ("MULTIESPECTRAL DATA"): información obtenida por sensores en mas de una banda espectral.

DATOS BRUTOS ("RAW DATA"): Los datos recibidos de un sensor, antes de que sean procesados o corregidos.

DECLINACION ("DECLINATION"): 1. En un sistema de coordenadas polares o esféricas, el ángulo en el origen entre una línea a un punto y el plano ecuatorial medido en un plano perpendicular a éste. 2. El arco entre el ecuador y el punto medido en el círculo máximo perpendicular al ecuador.

DECLINACION MAGNETICA ("MAGNETIC DECLINATION"): Ángulo entre el norte verdadero (geográfico) y el norte magnético. La declinación magnética iría constantemente de acuerdo al lugar, razón por la cual se editan mapas que muestran las líneas de declinación magnética y sus variaciones anuales. También se llama variación magnética.

DENSIDAD ("DENSITY"): La medida del grado de ennegrecimiento de una película, papel o placa fotográfica expuesta, después de su desarrollo. Se define estrictamente como el logaritmo de la opacidad óptica que es la relación entre la luz incidente y la luz transmitida o reflejada. También se le llama densidad de imagen.

DERIVA ("CRAB"): Condición causada por la falta de orientación de la cámara con respecto al rumbo de la aeronave, debido a un giro temporal de la aeronave a la izquierda o a la derecha sobre su eje. En el caso de las fotografías verticales, la deriva se nota porque los ejes de las fotografías no son paralelos a la línea de vuelo.

DETECTOR POR ACOPLAMIENTO DE CARGA ("CHARGE COUPLE DETECTOR CCD") : Un dispositivo en el cual los electrones son almacenados en la superficie de un semiconductor. Son usados por barredores optoelectrónicos.

DIFRACCION ("DIFFRACTION"): La propagación de la radiación electromagnética alrededor de los bordes de un cuerpo opaco hasta la zona de sombra del cuerpo. Un rayo de luz visto o proyectado a través de una abertura circular siempre forma su imagen como un centro brillante rodeado de anillos de luz que van disminuyendo gradualmente en intensidad hasta llegar a la zona de sombra.

DIFUSION ("DIFFUSION"): Distribución de luz incidente por reflexión. También transmisión de la luz a través de un material traslúcido.

DIRECCION AZIMUTAL ("AZIMUTH DIRECTION"): En imágenes radar, la dirección que sigue la aeronave en su vuelo.

DIRECCION DE ALCANCE ("RANGE DIRECTION"): Dirección en la que se dirigen los pulsos de radar. Esta dirección es perpendicular a la de azimut.

DISPERSION ("SCATTERING"): Separación de la radiación electromagnética hacia el interior de sus componentes espectrales por su paso a través de una rejilla de difracción o por refracción como la producida por un prisma. También proceso por el cual partículas muy pequeñas suspendidas en un medio de diferente índice de refracción, difunden en diferentes direcciones por parte de la radiación incidente.

DISTORSION ("DISTORTION"): Cualquier desplazamiento en la posición de puntos de la imagen digital.

ECO COHERENTE ("COHERENT ECHO"): Un eco de un radar cuya fase y amplitud a una distancia dada, permanecen relativamente constantes. Cerros, edificios y objetos que se mueven despacio, como el caso de los barcos, son ejemplos de objetos que producen un eco de radar coherente.

EFFECTO DOPPLER ("DOPPLER EFFECT"): Cuando la distancia entre el observador y la fuente de luz disminuye, las líneas del espectro se presentan en la dirección del violeta y cuando dicha distancia aumenta, las líneas del espectro se presentan en la dirección del rojo, siendo este desplazamiento proporcional a la velocidad relativa de la aproximación o alejamiento. Cambio aparente de frecuencia en las ondas electromagnéticas causada por un movimiento relativo entre la fuente de radiación y el detector.

EFICIENCIA DE ANTENA ("ANTENNA EFFICIENCY"): Capacidad que tiene una antena de concentrar toda la radiación en un solo lóbulo.

EJES FIDUCIALES ("FIDUCIAL AXES"): Las líneas que pasando por el centro de una fotografía, unen los puntos de las marcas fiduciales.

ELEMENTOS DE IMAGEN ("IMAGE ELEMENTS") Características que muestran las imágenes, y pueden dar las claves para su análisis, clasificación e interpretación. Ellos son: tono y/o color, tamaño y forma, textura y patrón de distribución, altura y sombras, contraste, homogeneidad y, por último, su lugar de ubicación y la asociación con otros objetos.

ELEMENTOS ORBITALES ("ORBITALS ELEMENTS"): Grupo de parámetros que definen la órbita de un satélite. Se llaman también parámetros orbitales.

ELIPSOIDE INTERNACIONAL DE REFERENCIA ("INTERNATIONAL ELLIPSOID OF REFERENCE"): Esferoide adoptado como Elipsoide Internacional en el año 1924 en base al de Hayford con ligeras modificaciones, y tiene los siguientes parámetros: semieje mayor 6378388 m; semieje menor 6356912 m y un factor de achatamiento 11297. También se le llama esferoide internacional de referencia.

EMISIVIDAD ("EMISSIVITY"): La relación entre la radiación emitida por una superficie cualquiera, y la radiación de un cuerpo negro a la misma temperatura. Un cuerpo negro tiene una emisividad de 1. En general la emisividad de los cuerpos varía entre 0 y 1.

ENTRENAMIENTO ("TRAINING"): Indicar a un ordenador los lugares en los que debe analizar las características espectrales o firmas de clases específicas de cobertura terrestre. Este entrenamiento se realiza utilizando sitios o muestras de entrenamiento que tienen características conocidas. También se le llama extracción de firma.

EQUILIBRIO TERMICO ("THERMAL EQUILIBRIUM"): Propiedad de todos los elementos de un sistema para mantener la misma temperatura uniforme que la del medio que irradia.

ESCALA DE GRISES ("GRAY SCALE"): Película que contiene una serie de tonos de gris desde el blanco hasta el negro, que se usa generalmente para determinar la densidad fotográfica. También se llama escala tonal.

ESPECTRO ("SPECTRUM"): Conjunto de longitudes de onda y frecuencias involucradas en proceso. También intervalo de frecuencias en el cual la radiación tiene ciertas características especificadas.

ESPECTRO ELECTROMAGNETICO ("ELECTROMAGNETIC SPECTRUM"): Varios tipos de radiaciones electromagnéticas conocidas, que van desde los rayos gamma, rayos "X", radiación ultravioleta, visible, infrarrojo e incluyendo microondas y todas las otras longitudes de onda de radio.

ESPECTROFOTOMETRO ("SPECTROPHOTOMETER"): Fotómetro que mide la intensidad de la radiación electromagnética como función de la frecuencia (o longitud de onda) de la radiación.

ESPECTROMETRO ("SPECTROMETER"): Instrumento para medir la distribución espectral de la radiación electromagnética. Esto puede conseguirse por un prisma dispersante, una rejilla cuadrículada, o un filtro de interferencia circular, colocando un detector atrás de una rendija alargada.

ESTEREO ("STEREO"): Prefijo para indicar características tridimensionales.

ESTEREOTRIANGULACION ("STEREOTRIANGULATION"): Uso de instrumentos estereoscópicos de trazado, para establecer datos de control horizontal y vertical por orientación de los pares estereoscópicos de fotografías en una línea de vuelo.

FALSO COLOR ("FALSE COLOR"): El uso de un color para representar los valores de la imagen de una banda. Se asigna un color arbitrario a los pixeles de una banda de una imagen multispectral.

FASE ("PHASE"): En un fenómeno o proceso periódico, la fracción del período comprendido entre el comienzo y un instante dado. También relación angular relativa de dos magnitudes periódicos de la misma frecuencia.

FILTRO DIGITAL ("DIGITAL FILTER"): Procedimiento matemático para discriminar valores de los pixeles de una imagen en función de su frecuencia espacial asociada.

FILTRO DIRECCIONAL ("DIRECTIONAL FILTER"): Filtro matemático diseñado para realzar en una imagen aquellos elementos lineales o umbrales orientados en una dirección particular.

FILTRO ESPACIAL ("SPACIAL FILTER"): Transformación de imágenes que se usa para disminuir ruidos o para realzar ciertas características espectrales de una imagen en función de las frecuencias de variación de los pixeles que la componen.

FILTRO PASO-ALTO ("HIGH-PASS FILTER"): Filtro que transmite todas las frecuencias que se encuentran por encima de un umbral y sustancialmente atenúa todas las otras.

FILTRO PASO-BAJO ("LOW-PASS FILTER"): Filtro que transmite corrientes alternadas de frecuencias más bajas de una frecuencia de corte y atenúa todas las demás.

GANANCIA ("GAIN"): Término general que se usa para expresar un aumento de la potencia de una señal en su transmisión de un punto a otro. La ganancia generalmente se expresa en decibelios (dB).

GEOIDE ("GEOID"): La superficie equipotencial en el campo de gravedad terrestre que coincide con el nivel del mar teóricamente quieto que se extiende continuamente a través de los continentes. La dirección de la gravedad es perpendicular al geode en cualquier punto. El geode es la superficie de referencia para observaciones astronómicas de posición y para la nivelación geodésica.

GIROSCOPO ("GYROSCOPE"): Aparato que básicamente consiste de un disco giratorio sobre un eje libre. Este dispositivo sirve para asegurar la estabilidad de un vehículo.

HAZ DE RADAR ("RADAR BEAM"): Cono de energía electromagnética producido por el transmisor de radar. Normalmente se mide en miliradianes. También se le llama señal de radar.

HISTOGRAMA ("HISTOGRAM"): Presentación gráfica de un grupo de datos. El eje vertical del gráfico muestra la frecuencia de ocurrencia del fenómeno y el eje horizontal, las mediciones individuales o valores.

HOLOGRAMA ("HOLOGRAM"): Placa fotográfica especial utilizada en holografía, que cuando el negativo es revelado e iluminado desde atrás por un haz coherente láser, produce una imagen tridimensional en el espacio.

HUMEDAD ("HUMIDITY"): La cantidad de vapor de agua contenido en la atmósfera.

HUMEDAD ABSOLUTA ("ABSOLUTE HUMIDITY"): Masa de vapor de agua en 1% una unidad de volúmen de aire.

HUMEDAD RELATIVA ("RELATIVE HUMIDITY"): Relación entre la humedad absoluta en un momento dado y la cantidad de vapor de agua necesaria para saturar un metro cúbico de aire a la misma temperatura.

IMAGEN DE ALCANCE INCLINADO ("SLANT RANGE IMAGE"): En radar, una imagen en la cual los objetos están colocados en posiciones que corresponden a sus distancias de alcance inclinado medidas desde la trayectoria de la aeronave.

IMAGEN DE ALCANCE TERRESTRE ("GROUND RANGE IMAGE"): Imagen de radar de vista lateral, en la que los objetos en la elevación de referencia, están colocados en distancias correspondientes a su separación en el terreno.

IMAGEN RADAR ("RADAR IMAGERY"): Imagen de un objeto o de una región territorial obtenidas por medio de un radar. También se le llama mapa radar.

IMAGEN DIGITAL ("DIGITAL IMAGE"): Caracterización discreta de una escena formada por elementos multivaluados llamados píxeles, como tal puede estar formada por bandas espectrales y en este caso se le llama imagen multiespectral.

INCLINACION DE LA ORBITA ("ORBITAL INCLINATION"): Dirección que tiene la trayectoria de un cuerpo orbitante. En el caso de los satélites artificiales terrestres, se puede definir como el ángulo de inclinación de la trayectoria de la órbita medido desde el ecuador.

INDICE DE REFRACTION ("INDEX OF REFRACTION"): La medida de la cantidad de refracción de un cuerpo. Es la relación entre la longitud de onda o velocidad de la fase de la radiación electromagnética en el vacío, y la misma en otra sustancia. Puede ser función de la longitud de onda, la temperatura y la presión.

INDICE DE VEGETACION ("VEGETATION INDEX"): Índice obtenido por la razón de las bandas de un sensor. Generalmente la razón entre las bandas rojas e infrarrojas del espectro.

INFORMACION ESPACIAL ("SPATIAL INFORMATION"): Información aportada por variaciones espaciales de la respuesta espectral proveniente de la escena observada.

INTERVALO ESPECTRAL ("SPECTRAL INTERVAL"): El ancho de una porción particular del espectro electromagnético generalmente expresado en frecuencias o longitudes de onda. Un sensor determinado es diseñado para medir o ser sensible a la energía recibida en uno o varios intervalos espectrales.

LASER ("LASER"): Instrumento que produce luz coherente por emisión de energía almacenada en un sistema molecular o atómico cuando se estimula con una señal de partida.

LATITUD ("LATITUDE"): Distancia angular al norte o al sur del ecuador medida en grados a lo largo de un meridiano.

LONGITUD ("LONGITUDE"): Distancia angular a lo largo del ecuador, entre el meridiano que pasa por el lugar y el meridiano que pasa por el origen, que generalmente es el meridiano de Greenwich.

LONGITUD DE ONDA ("WAVELENGTH"): Relación entre la velocidad y la frecuencia de una onda. También distancia promedio entre dos máximos (o los mínimos) de una onda.

MARCAS FIDUCIALES ("FIDUCIAL MARKS"): Marcas índice, por lo general cuatro, rígidamente conectadas con la lente de la cámara a través del cuerpo de la misma y que forman imágenes en el negativo, usadas para definir un punto principal de una fotografía.

NADIR ("NADIR"): El punto de la esfera celeste verticalmente debajo del observador, o 180 grados del zenit. También el punto en el terreno directamente en línea con el sensor y el centro de la Tierra.

NOAA ("NOAA"): Acrónimo de National Oceanic and Atmospheric Administration. Agencia americana para el océano y la atmósfera.

OBJETO ("TARGET"): Cualquier elemento en el terreno de interés específico para la Teledetección.

ORBITA ("ORBIT"): Recorrido cerrado, generalmente elíptica, realizado por un cuerpo o partícula al desplazarse alrededor de otro por la acción de la fuerza de la gravitación u otra fuerza.

ORBITA GEOESTACIONARIA ("GEOESTACIONARY ORBIT"): Órbita terrestre en el plano ecuatorial en la que el satélite se desplaza a la misma velocidad angular que la tierra. Esta condición se presenta aproximadamente a los 35900 Km. de altura.

ORBITA HELIOSINCRONA ("SUNSYNCHRONOUS ORBIT"): Órbita de satélite terrestre cuyo plano orbital es casi polar y a una altura tal que el satélite pasa por todos los lugares de la Tierra que tienen la misma latitud a la misma hora local.

PALABRA ("WORD"): Unidad fundamental de capacidad de almacenamiento de un ordenador, que contiene 16 bits o 32 bits.

PIXEL ("PIXEL"): Contracción de "picture element". Se denomina a los puntos o elementos de una imagen digital.

PLATAFORMA ("PLATFORM"): Cualquier estructura o vehículo en el que se colocan sensores para su uso en tierra desde el aire o desde el espacio.

PRECISION GEOMETRICA ("GEOMETRIC ACCURACY"): La precisión con que se localizan puntos en un mapa o en una imagen, relacionándolos con algún sistema de coordenadas.

PROYECCION CARTOGRAFICA DE MERCATOR ("MERCATOR MAP PROJECTION"): Proyección cartográfica de tipo cilíndrico en la que el ecuador está representado por una línea recta a escala verdadera; los meridianos están representados por líneas rectas paralelas perpendiculares a la línea del ecuador y están distanciadas de acuerdo a su separación en el ecuador, los paralelos están representados por un segundo sistema de líneas rectas perpendiculares a las líneas que representan los meridianos y como consecuencia paralelas al ecuador. La distancia aumenta, cuando aumenta la distancia al ecuador.

PROYECCION UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR (UTM): Proyección cartográfica plana de tipo cilíndrico que divide el globo terrestre en 60 zonas de 6 grados de longitud cada una. El ecuador está representado por una línea recta con un valor arbitrario de 10000000 de metros y el meridiano central para cada zona por 500000 metros. Es la proyección más conveniente para países o regiones cuya mayor extensión es de norte a sur.

RADAR DE ABERTURA SINTETICA ("SYNTHETIC APERTURE RADAR"): Radar en el cual se simula una antena larga, que integra los ecos múltiples de la misma célula de resolución terrestre aprovechando el efecto Doppler, para producir un registro cronológico en cinta magnética que puede ser procesada óptica o digitalmente.

REALCE DE CONTORNOS ("CONTOUR ENHANCEMENT"): Técnica de proceso de imágenes en donde se hacen más destacados los límites que separan las zonas de diferente densidad.

REALCE DE CONTRASTE ("CONTRAST ENHANCEMENT OR STRETCHING"): Procesamiento que mejora la relación de contraste en las imágenes. El intervalo angosto original de los valores digitales se expande para utilizar el intervalo completo de valores digitales disponible.

RECONOCIMIENTO DE PATRONES ("PATTERN RECOGNITION"): Relacionado con, pero no limitado a discriminación, clasificación e identificación de patrones, selección, extracción y cuantificación de rasgos distintivos, y filtrado, realce y segmentación de patrones.

RESOLUCION ("RESOLUTION"): Habilidad de un sistema de teledetección, incluyendo lentes, unidades de presentación visual, antenas, procesamiento y a otros factores, para producir una imagen nítida y bien definida. Puede expresarse por pares de líneas por milímetros o metros, o de muchas otras maneras. En radar, el término resolución generalmente se aplica a la amplitud del haz efectivo y al intervalo del ancho medido, frecuentemente llamado puntos de media fuerza. Para barredores lineales la resolución puede expresarse como campo instantáneo de vista. La resolución puede expresarse también en términos de temperatura u otra propiedad física que se está midiendo. Si la resolución la expresamos por el tamaño de los objetos que vamos a ser capaces de distinguir se llama resolución espacial.

RETRODISPERSION ("BACKSCATTERING"): La dispersión de energía radiante en el ambiente de espacio limitado por el plano normal a la dirección de la radiación incidente y colocada en el mismo lado que el rayo incidente. Es lo opuesto a la dispersión frontal. En terminología radar, retrodispersión se refiere a la radiación reflejada de regreso a la fuente. La señal de radar es reflejada en forma mucho más compleja que la luz visible.

ROTACION ("ROLL"): Desplazamiento de una aeronave o plataforma sobre su eje longitudinal, causando una subida o bajada.

SEGMENTACION DE DENSIDADES ("DENSITY SLICING"): El proceso de convertir tonos continuos de una imagen en una serie de intervalos de densidad, cada uno de ellos corresponde a un número digital o a una densidad específica.

SENSOR ACTIVO ("ACTIVE SENSOR"): Un sensor o un sistema que tiene su propia fuente de energía electromagnética que transmite dicha energía hacia su objetivo y luego registra la energía reflejada.

SENSOR PASIVO ("PASSIVE SENSOR"): Sensor o sistema que detecta y/o mide la radiación natural de los objetos, esto es la energía reflejada o emitida por ellos.

SUPERFICIE ESPECULAR ("SPECULAR SURFACE"): Superficie que refleja como un espejo.

SUPERFICIE LAMBERTIANA ("LAMBERTIAN SURFACE"): Superficie ideal para una difusión perfecta, que refleja la energía igualmente en todas direcciones.

TEMPERATURA DE BRILLO ("BRIGHTNESS TEMPERATURE"): Es la temperatura debida a la excitación de un cuerpo negro en algunas bandas estrechas de longitud de onda. Este método radiométrico de medición de temperatura se utiliza en razón de que normalmente es muy difícil medir la temperatura de una superficie.

TEXTURA ("TEXTURE"): En una imagen, la textura se aprecia por la frecuencia de cambio y disposición de los tonos, y puede ser fina, mediana o gruesa.

TRANSFORMACION AFIN ("AFINE TRANSFORMATION"): Es una transformación en las que las líneas rectas permanecen rectas y las líneas paralelas permanecen paralelas. Sin embargo, los ángulos cambian y pueden introducirse cambios en las escalas.

TRANSFORMADA DE FOURIER ("FOURIER TRANSFORM"): Operación que transforma un fenómeno del dominio del tiempo al dominio espacial empleando como funciones básicas el seno y el coseno.

UMBRAL ("THRESHOLD"): Límite en el espacio espectral o de frecuencias, más allá del cual un píxel tiene una probabilidad tan baja para su inclusión en una clase dada, que lo excluye de esa clase.

VARIANZA ("VARIANCE"): Es la medida de la dispersión de los valores unitarios, de un grupo con relación a su promedio.

VIÑETA ("VIGNETTE"): Interferencia producida por el montaje de la lente u otra obstrucción, que reduce el campo efectivo del diafragma. También proceso para regular la distribución de la luz que llega a una copia fotográfica, de tal manera que la imagen que se obtenga aparezca decolorada en sus extremos.

VIDICON ("VIDICON"): Tubo de cámara de televisión fotoconductor con capacidad de almacenamiento que responde a radiaciones del espectro visible y una porción del infrarrojo cercano. Se usa en cámaras profesionales de televisión y en aplicaciones espaciales.

7. BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Arozarena et al. "El programa CORINE. Proyecto Land Cover: Una metodología aplicada a las islas Canarias. IV Reunión de la A.E.T. (Sevilla 1991).
- ✓ Chuvieco, E.: "Fundamentos de Teledetección Espacial" 3ª Ed. Revisada. Ed. Rialp, 1996.
- ✓ Comas, D. y Ruiz, E.: "Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica". Ed. Ariel, 1993.
- ✓ CORINE Land Cover. Guide Technique. CEE, 1993.
- ✓ Curso Internacional para el Tratamiento Digital de Imágenes de Satélite con aplicaciones cartográficas. Aguascalientes (México) 1995, 1996, 1997... INEGI de México, IPGH e IGN de España.
- ✓ Domingo Ajenjo, A.: "Tratamiento digital de imágenes" Anaya Multimedia, 1993.
- ✓ Formación de una Base de Datos geográfica de usos del suelo en el Litoral de Marruecos. Proyecto Medgeobase. Del Bosque González, I.; Arozarena Villar, A.; Villa Alcazar, G. (VI Reunión de la A.E.T. (Valladolid 1995).
- ✓ John R. Jensen: "Introductory Digital Imagen Processing" Prentice-Hall, 1986.
- ✓ Medgeobase Marruecos. Informe Final. EUROMED.GEIE Instituto Geográfico Nacional de España, 1996.
- ✓ Medio Ambiente en Europa. El informe Dobris. Agencia Europea de Medio Ambiente (1995).
- ✓ Moreno, V. et al. "Obtención de información medioambiental básica mediante Teledetección". ESA SP-412, mayo 1998.
- ✓ Pinilla, C.: "Elementos de Teledetección", Ed. RAMA, 1995.
- ✓ Remmert, M.: Ecología. Ed. Blume, 1988.
- ✓ Varios autores: "El programa CORINE de la CEE". MOPU, 1990.
- ✓ Varios autores: "Geographical Information Systems. Principles and Applications". Longman Scientific and Technical, 1991.
- ✓ Varios autores: Notas y apuntes del "Curso de Teledetección aplicada a las Ciencias de la Tierra". Ilustre Colegio Oficial de Geólogos e Indra Espacio, septiembre 1993.
- ✓ Varios autores: "Sistemas de Información Geográfica: Prácticas con PC ARC-INFO e Idrisi". Ed. RAMA, 1994.



8 423434 355379

Edita y comercializa:
Centro Nacional de Información Geográfica



MINISTERIO
DE FOMENTO

DIRECCIÓN GENERAL
DEL INSTITUTO
GEOGRÁFICO
NACIONAL

CENTRO NACIONAL
DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA

