

teóricas de los cultivos con el agua disponible en el suelo. En estos modelos la entrada de información se limita a datos meteorológicos diarios, en tiempo real o ligeramente diferidos, relativos a temperatura, humedad, insolación, velocidad del viento y precipitación. También requiere información edáfica, con cálculo de la reserva de agua útil del suelo, fenología de los cultivos, y coeficientes de cultivo, para el cálculo de la evapotranspiración potencial de las diversas fases del cultivo. Finalmente, índices de sequía o "stress" hídrico susceptibles de afectar a los cultivos.

- Modelos complejos. Son modelos deterministas, mucho más precisos y rigurosos que los anteriores. Estos han sido desarrollados y validados a nivel europeo para los siguientes cultivos: trigo, cebada, avena, maíz, arroz, patata, remolacha, soja, colza y girasol. Funcionan con un modelo combinado de balance energético y balance hídrico, de forma que no sólo consideren el aprovisionamiento de agua por la planta, sino también la interceptación de la luz por ésta, la asimilación del CO<sub>2</sub>, el "stress" térmico, etc. Una veintena de variables específicas son requeridas por estos modelos que, asignadas en cada región, permiten hacer, a partir de datos meteorológicos diarios, un seguimiento continuado de las condiciones de desarrollo de estos cultivos.

Estos modelos son utilizados en el proyecto HYDRE a través de diversos programas desarrollados para el contexto europeo por el C.C.R. de Ispra, por lo que no serán analizados aquí.

No obstante, modelos vinculados con el cálculo de pérdidas de suelos y con la obtención de datos y su evaluación a través de teledetección si han sido elaborados o adaptados por la Consejería de Medio Ambiente, por lo que serán descritos más pormenorizadamente a continuación.

### **V.3. LOS MODELOS DE TELEDETECCIÓN.**

Tanto la información, como los modelos utilizados en aspectos relacionados con la teledetección en el proyecto Hydre, son fundamentales. Por una parte, porque permiten obtener parámetros distribuidos en el tiempo y el espacio, que de otra forma sería muy problemático obtener. Por otra, porque suponen informaciones que, correlacionadas con las generadas en tiempo real, permiten validar espacialmente los comportamientos reflejados en la vegetación por los modelos agrometeorológicos.

Como se mencionó en el apartado destinado a la información, se utilizan imágenes de satélites de baja resolución espacial (NOAA), pero alta resolución temporal (6 horas), junto a imágenes de alta resolución espacial (Landsat-TM) para actualización de usos y coberturas vegetales cada cuatro años.

En el primer caso, los modelos de teledetección que se utilizan son modelos ya clásicos para el cálculo del índice de vegetación (NDVI), la temperatura de superficie y la evaluación de la evapotranspiración real (E.T.R.). La finalidad de estos modelos es obtener, para períodos decenales, información actualizada sobre el estado de desarrollo de la vegetación, permitiendo controlar y cartografiar problemas de sequía o heladas a la resolución del sensor AVHRR de NOAA.

Para lograr esta finalidad es necesario realizar una cadena de tratamientos sobre las imágenes NOAA que permita llegar a una comparación espacial, espectral y temporal del comportamiento de estos parámetros. Dicho objetivo es cubierto por el "software" SPACE (Software for Processing AVHRR data for the Communities of Europe; SHARMAN, M. et al., 1991) a nivel del conjunto de regiones de Europa.

La cadena de tratamientos cubierta por SPACE implica: Calibración de datos, corrección atmosférica, corrección geométrica inicial mediante el uso de parámetros orbitales (elementos Brower para los TBUS) para referenciar las imágenes al elipsoide local Europeo, detección y enmascaramiento de nubes, empleando el algoritmo APOLLO desarrollado por el British Meteorological Office, restitución de la imagen posicionándola con relación a una base cartográfica, corrección geométrica final utilizando un modelo polinomial.

Esta cadena de tratamientos es absolutamente automática y no requiere intervención del usuario, salvo para la carga de imágenes. A partir de dichos tratamientos se calculan parámetros como el NDVI, pudiéndose comparar zonas y valores en el tiempo y el espacio.

No obstante, el desarrollo de Hydre en Andalucía ha implicado la adaptación de dicha cadena de tratamientos en su Sistema de información. Este proceso se encuentra en avanzado proceso, habiéndose cubierto las fases de calibración, corrección atmosférica, detección de nubes, correcciones geométricas y cálculo de parámetros físicos, que permiten producir, hoy en día, imágenes NOAA comparables, tratadas por el "software" AMATEL (LOBATO, A. y MOREIRA, J. M., 1983), de desarrollo propio de la Agencia de Medio Ambiente de Andalucía. Por lo que se refiere a los modelos de teledetección empleados sobre imágenes en alta resolución, se ha desarrollado toda una cadena de procedimientos (en este caso sólo en Andalucía como región piloto), que permite la actualización de usos y coberturas vegetales, cada cuatro años, manteniendo la comparabilidad con mapas preexistentes, como el mapa de ocupación del suelo de España (AGENCIA DE MEDIO AMBIENTE, 1993). Esta cadena de tratamientos incluye una revisión de leyenda de usos y coberturas vegetales, introduciendo aspectos básicos de la incidencia de la vegetación sobre la protección del suelo, e implica la corrección geométrica de imágenes Landsat, la producción de imágenes de alta calidad para el proceso de

interpretación, verificación en campo de digitalización

A partir de estos mapas de coberturas vegetales se derivan datos de la capacidad protectora por la vegetación del suelo, de la distribución espacial de alternativas de cultivos por zonas, de la emisividad de los diferentes tipos de coberturas en diferentes fechas, según los ciclos de los cultivos, y de su combustibilidad.

El cambio de resolución espacial de imágenes Landsat a imágenes NOAA, mediante algoritmos de interpolación, permite combinar ambos tipos de información, de manera que es factible conocer qué zonas son cultivadas con determinadas alternativas en un año y cuál es el NDVI que en un momento concreto se está produciendo. Las informaciones que se extraen así de los modelos de teledetección entran a formar parte, a su vez, de los modelos agrometeorológicos, de los de pérdidas de suelo o de riesgos.

Los modelos de Teledetección desarrollados en Andalucía serán analizados a continuación.

### **V.3.1. DESARROLLO DE MODELOS PARA IMÁGENES NOAA-AVHRR.**

Dentro del SinambA, la Teledetección espacial constituye una de las áreas básicas que conforman el Sistema de Información. En este campo, contamos con un paquete software de desarrollo propio: AMATEL, el cual abarca las diferentes funciones de manejo de la información en formato ráster, aplicadas fundamentalmente al tratamiento de imágenes de satélite.

El empleo particularizado y ampliado en potencialidad que se viene realizando de la metodología propuesta por la C.E., dentro del proyecto HYDRE, ha implicado la conveniencia de plantear el desarrollo de los distintos modelos de Teledetección desde dentro del SinambA.

Esta opción permite el diseño a medida de las diferentes funciones, para su perfecta adaptación a los distintos formatos de la información utilizados dentro de nuestro sistema, permitiendo, así mismo, una total libertad en la forma y orden de aplicación de cada uno de los procesos parciales. Se facilita así el empleo de las imágenes NOAA en el formato en que se reciben, el uso de programas preexistentes para tareas de carácter auxiliar dentro del ámbito del tratamiento de imágenes, los enlaces e interrelaciones de los indicadores obtenidos de las imágenes, con datos procedentes de otras fuentes etc. Al mismo tiempo se garantiza la flexibilidad de los procesos desde el punto de vista de su futura adaptación o modificación para integrar cambios y ampliaciones que puedan surgir en la metodología global. Disponemos de este modo de un sistema abierto, perfectamente adaptado a nuestro Sistema de Información.

Dado que dentro del proyecto HYDRE europeo, los modelos de