

Teledetección y transformaciones territoriales en el sur-este de Madrid en el cambio de siglo (1999-2001)

JULIA YAGÜE BALLESTER

Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. U.C.M.

1. INTRODUCCIÓN

Los últimos años de la década de 1990 crearon una altísima expectación frente al cambio de siglo que se avecinaba. La transición temporal intersecular ha devenido sin solución de continuidad; sin embargo, muchas de las actividades económico-políticas que se han desarrollado en ese transcurso calmo del tiempo han producido alteraciones manifiestas sobre el espacio de nuestra Comunidad Autónoma: el aumento de infraestructuras viarias y el crecimiento inmobiliario centrífugo desde el corazón urbano madrileño, han alterado el inmediato espacio periurbano con numerosas escaras y suturas, que en poco tiempo, han hecho perder las características *naturales* que esos espacios todavía conservaban. El objetivo principal de este trabajo es analizar, detectar y cartografiar, mediante teledetección espacial, el avance de las infraestructuras civiles y el crecimiento urbano-inmobiliario acaecido en la periferia SE de la ciudad de Madrid entre agosto de 1999 y junio de 2001 (22 meses). En concreto, nos centramos en la confluencia de los ríos Manzanares y Jarama, sobre parte de los municipio de Getafe, Rivas, San Martín de la Vega y Arganda. La singularidad y fragilidad natural de este pequeño cuadrante periurbano queda de manifiesto al inventariar los recursos naturales, o histórico culturales que entran en conflicto con la multitud de usos económicos e intereses políticos que compiten por el mismo espacio; como resultado, la velocidad de cambio del paisaje resulta vertiginosa. El aumento de superficies artificiales es una característica propia de los enclaves periurbanos, que en este caso se hace más evidente al contrastar con algunos extremos del Parque Regional del Sur Este, cuya figura de protección diferencia nítidamente su evolución espacial respecto a la adyacente periferia urbana. Este estudio se encuadra en el proyecto de investigación UCM PR 48-019852.

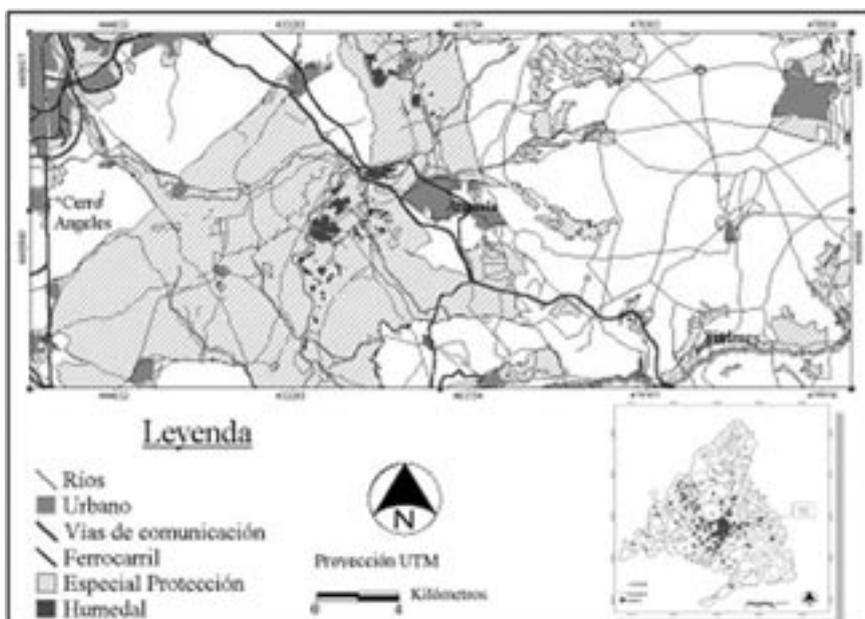
2. ÁREA DE ESTUDIO

El cuadrante sobre el que hemos centrado el estudio queda enmarcado por las coordenadas 40.º 22'N 3.º 42'W del vértice NO y 40.º 14'N-3.º 21'W del vértice SE. Los hitos urbanísticos que marcan estos vértices son: para el extremo NO la confluencia de la M40 con la carretera Nacional IV y, para al extremo SE, el punto de confluencia de la Nacional III a su paso sobre el río Tajuña, junto a las localidades de Perales de Tajuña y Tielmes (esta última algo más desplazada hacia el E. Figura 1). Desde el punto de vista paisajístico encontramos las siguientes unidades:

1. Sotos y riberas en las vegas de los ríos Manzanares y Jarama;
2. glacis de vertiente, normalmente ocupados por cultivos de secano;
3. cantiles yesíferos, con sus imponentes escarpes hacia las vegas;
4. pequeños retazos extremos de los páramos, unidad muy característica en este entorno regional.

Los agentes físicos que articulan esta área le confieren buena parte de su identidad, diversidad y fragilidad ambiental. La **geo-litología** es la propia del

FIGURA 1
Localización del área de estudio



territorio centro septentrional de la cuenca del Tajo, es decir, materiales evaporíticos y detríticos que colmataron la cuenca endorréica durante el neógeno y el cuaternario, en condiciones áridas similares a las actuales. Las facies neógenas más comunes son yesos, arcillas, margas, arenas micáceas, calizas dolomíticas y margosas hasta el nivel del páramo, a partir del cual encontramos conglomerados, areniscas, arenas, arcillas, margas, calizas, y caliches. Los materiales del pleistoceno y holoceno configuran las formas de los ríos Manzanares y Jarama: terrazas, llanuras de inundación y, abanicos aluviales y coluviales. Esta naturaleza del substrato geológico explica la abundancia y proliferación de canteras para la extracción de áridos. **El clima** está marcado por parámetros árido-mediterráneos, con una amplitud térmica notable (16-19°C) y una acusada sequía estival; la precipitación anual oscila entre 440 y 490 mm, mientras que la temperatura media anual es de 14°C; el período de heladas es de tres meses mientras que julio y agosto superan los 30°C de media. **Los suelos** más característicos de esta área son los gypsisoles, calcisoles, leptosoles y cambisoles, con fluvisoles en las vegas de los ríos y algunas manchas de luvisoles y gleysoles (Monturiol y Alcalá, 1990). El entramado **hidrológico** está regido por el río Jarama como colector principal, y por el tramo bajo del Manzanares antes de su confluencia con el anterior; el régimen pluvial natural está totalmente alterado por las obras de regulación en las cabeceras y por las necesidades de abastecimiento urbano e industrial intermedio. La red secundaria de arroyos y barrancos, a pesar de su estacionalidad, juega un papel de primer orden en la configuración del paisaje: la topografía relativamente plana de los cauces, proporciona localizaciones *fáciles* para la expansión urbanística, como en el caso del Arroyo Culebro, tributario del Manzanares. La actuación modeladora del agua es significativa en los procesos de arroya asociados a episodios de precipitación violenta, así como la disolución de yesos en formas pseudokársticas.

La vulnerabilidad del frágil equilibrio natural de esta zona queda de manifiesto al analizar las **cubiertas vegetales**, tanto naturales como agrícolas. Las unidades vegetales más notables son las superficies de mosaico agrícola-forestal, los matorrales, las frondosas de monte bajo y las asociaciones de ribera. La vegetación natural se encuentra muy alterada: olmedas y choperas mesomediterráneas, quejigares mesosupramediterráneos y encinares mesomediterráneos. En la actualidad, en los cursos bajos del Manzanares y Jarama, el regadío alterna con las áreas urbanizadas y la extracción de áridos; permanecen algunas manchas arbustivas o arbóreas de cierta entidad compuestas de chopos, tarayales, olmos, fresnos, sauces, juncas, cañizares (laguna de las Madres, soto y laguna de Velilla, etc). Los primitivos bosques de *Quercus ilex* han quedado degradados a formaciones arbustivas de coscojar, mientras que las esplegueras con lino y salvia blanca han sustituido los coscojares origina-

les sobre suelos calizos o ligeramente yesosos. Por último, los jabunales y espartales colonizan los sustratos más pobres, de yesos. Encontramos repoblaciones de *Pinus halepensis* (La Marañosá) ocupando posibles nichos de la ubicación original de las carrascas y encinas.

A partir de lo apuntado, es fácil comprender la intensidad a la que pueden llegar de los procesos de degradación en esta zona, bien por la competencia propia de actividades económicas, bien por la frágil asociación natural de elementos bióticos y factores abióticos mediterráneos que configuran el medio. En este estudio nos ocupamos de la pérdida de suelos y espacios naturales registrada en el breve tiempo de 22 meses como consecuencia de la expansión inmobiliaria y del aumento de infraestructuras viarias. Otros procesos de degradación natural presentes en la zona son:

1. la erosión por arroyada, notable en las cuestas (glacis de ladera o de vertiente) de La Marañosá y al sur de Las Cumbres de Vallecas;
2. los riesgos de inundación de la llanura aluvial del Manzanares y Jarama, totalmente ocupada por actividades agrícolas, extractivas y urbanas;
3. acarcavamiento de cauces no permanentes, especialmente los de sustrato yesífero;
4. desprendimientos gravitacionales ligados a los escarpes y al pseudo-karst.

3. TELEDETECCIÓN Y CAMBIOS PERIURBANOS

«Existen áreas en las que la expansión de la ciudad hacia el campo mediante flujos e interrelaciones de residencia, ocio, turismo e industria, difícilmente puede clasificarse como rurales o urbanos. Son zonas que aparecen como un campo urbanizado o una ciudad ruralizada» (Aguilera *et alia*, 1991).

Esta es la dinámica interna que rige el sector periurbano estudiado. La rapidez de cambio de usos de suelo en los sectores periurbanos sin figuras legales de protección, es un hecho connatural a su ubicación: las funciones y relaciones que mantiene con el centro urbano así como con otras localidades distales les hace ser, por definición, zonas de tránsito para actividades transitorias. La aplicación de la teledetección espacial a estos ámbitos, especialmente los puramente urbanos, ha planteado hasta fechas recientes, problemas derivados de la limitada resolución espacial, excesivamente grosera para la alta densidad de detalles albergados en la trama urbana, a pesar de las bandas

pancromáticas o de combinaciones con radar. Esta limitación ha quedado ampliamente subsanada con la reciente disponibilidad de imágenes IKONOS e IRS (Armesto y Gil, 2001). Sin embargo, durante más de dos décadas, las imágenes Landsat han permitido aplicaciones tales como la actualización multitemporal del espacio edificado (Molina y Chuvieco, 1995); en ambientes periurbanos encontramos una combinación laxa de usos del terreno: superficies artificiales para usos industriales y residenciales, combinadas con áreas ajardinadas o semi-naturales, actividades agrícolas, retazos de vegetación natural, etc; la capacidad de discriminación espectral de las cubiertas del sensor ETM+ hace que esta sea una herramienta especialmente adecuada para el seguimiento y actualización de cambios en sectores tan dinámicos como el periurbano.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

En este estudio comparativo temporal se han utilizado dos imágenes Landsat 7, satélite gestionado por la NASA, y portador del sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), que desde su lanzamiento en abril de 1999, mejora la calidad técnica de observación de su predecesor el sensor TM; ambos están especialmente diseñados para el análisis espacial y la cartografía temática. Las mejoras añadidas al ETM+ son:

1. la adición de una banda pancromática con resolución espacial de 15 m, especialmente adecuada para la temática urbana;
 2. una mejora en el sistema de calibración radiométrica con precisión absoluta del 5%;
 3. mayor perfeccionamiento en la geometría de captura,
 4. se mantiene la resolución espacial (30 m) de las bandas del espectro visible e infrarrojo mientras que las bandas del térmico (6L y 6H) pasan de 120 m a 60 m, además de la banda pancromática ya citada.
- Las imágenes utilizadas han sido las siguientes:

<i>Fecha</i>	<i>Satélite y Sensor</i>	<i>Resolución espacial</i>	<i>Orbita/fila</i>	<i>Corrección Geométrica</i>
20-8-99	Landsat 7 ETM+	30m 15m pancro	201/30	Georreferenciación UTM
06-6-01	Landsat 7 ETM+	30m 15m pancro	201/30	Georreferenciación UTM

Las posibilidades de análisis que ofrecen los datos digitales captados por los sensores remotos son amplísimas, por lo que conviene tener una clara de-

finición de objetivos antes de acometer el proceso de análisis. En nuestro estudio, después de la debida corrección geométrica de las imágenes, hemos valorado el alcance de los cambios de uso de suelo, exclusivamente a través de filtros encaminados a la mejora espacial: análisis focal, resalte de bordes, aplicación de filtros de Wallis, Sabel y Prewit, separación y resalte de texturas y filtros estadísticos. Aunque se ha trabajado con todas las bandas, se ha hecho mayor uso y tratamiento de la banda 5 (infrarrojo medio, 1.55 1.75 μ m) ya que registra con más idoneidad los procesos de emisión de energía de las superficies artificiales, tales como obras públicas o movimiento de tierras para urbanización o extracción de áridos, tan característicos en el área que nos ocupa.

En el análisis digital, los filtros espaciales aíslan o resaltan ciertos componentes de interés, a partir de la diferencia entre el ND de un pixel y el de los pixeles adyacentes. Para conseguir la mejora espacial se trabaja con la frecuencia espacial de la imagen raster, que es la diferencia entre los valores altos y bajos de un conjunto continuo de pixeles. Las diferencias que presentamos entre agosto d 1999 y junio de 2001 han sido detectadas mediante la aplicación de un filtro de paso alto para resalte de bordes (*high pass edge enhance convolution filter*), ya que la literatura demuestra su idoneidad para áreas de alta variabilidad, donde el contraste espacial es intenso (Mather, 1999). El tamaño de la matriz móvil de filtraje aplicada ha sido de 3 \times 3 pixeles y, al ser de paso alto, consigue realzar los bordes entre grupos de píxeles homogéneos, singularizando el perímetro de polígonos (canteras, urbanizaciones, humedales) o trazados lineales (carreteras: Radial 3 M40-Arganda, Radial 4 M40-Ocaña y M50).

5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Las figuras 2 y 3 muestran el resultado del análisis de realce de bordes sobre la banda 5, de las imágenes ETM+. La figura 2 ilustra los cambios más significativos, que pasamos a comentar.

Los cambios que observamos en la ocupación y usos de suelo en el SE de Madrid hay que entenderlos desde dos puntos de vista: primero, en el marco de las directrices políticas y de inversión marcadas por el Gobierno Autonómico para esa área. Segundo, en el contexto de la competencia por el espacio y por la supervivencia de la función a desempeñar. A modo de ejemplo enumeramos algunos de esos servicios urbanos, sociales y patrimoniales que pugnan por articularse en apenas 10 kilómetros, entre la M40 y los escarpes de la confluencia del Manzanares y el Jarama: la planta de compostaje y las depuradoras de Butarque, Sur y Suroriental; la incineradora, el vertedero municipal y las yeseras de Valdemingómez; líneas eléctricas de

FIGURA 2
Imagen Landsat ETM+ de 22-08-99. Banda 5.
Realce mediante filtro de resalte de bordes

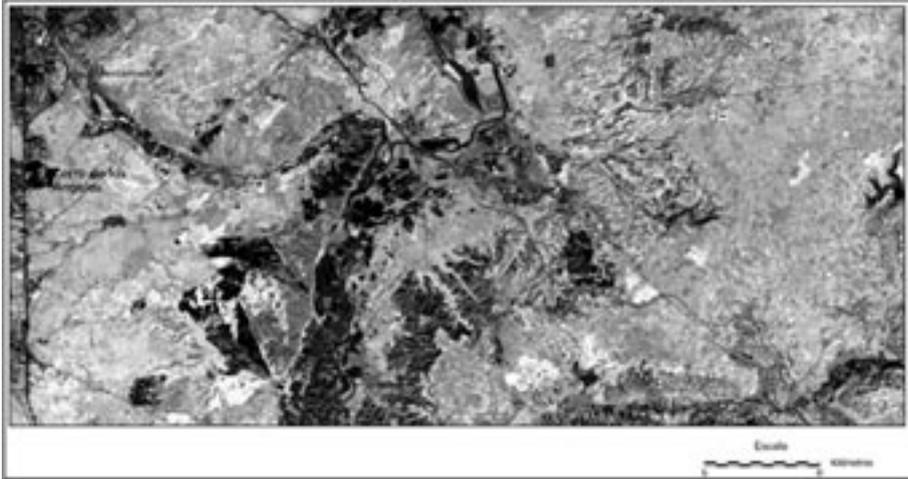
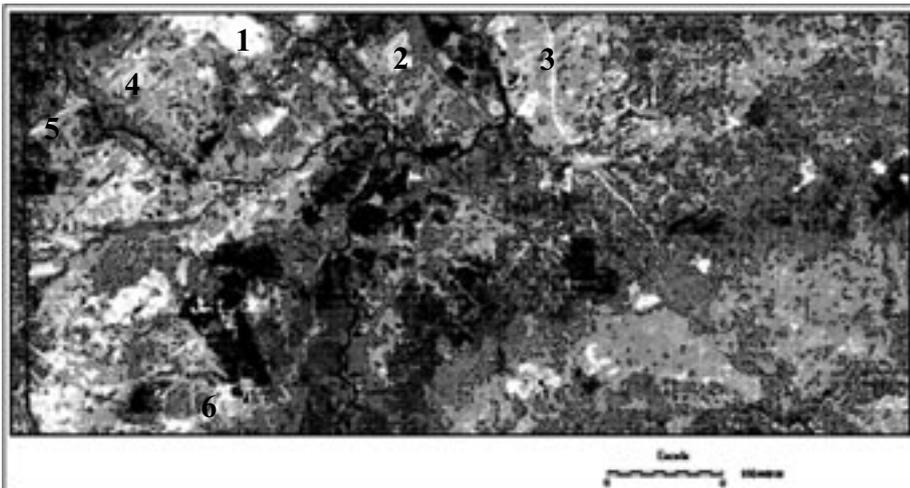


FIGURA 3
Imagen Landsat ETM+ de 06-06-01. Banda 5.
Realce mediante filtro de resalte de bordes



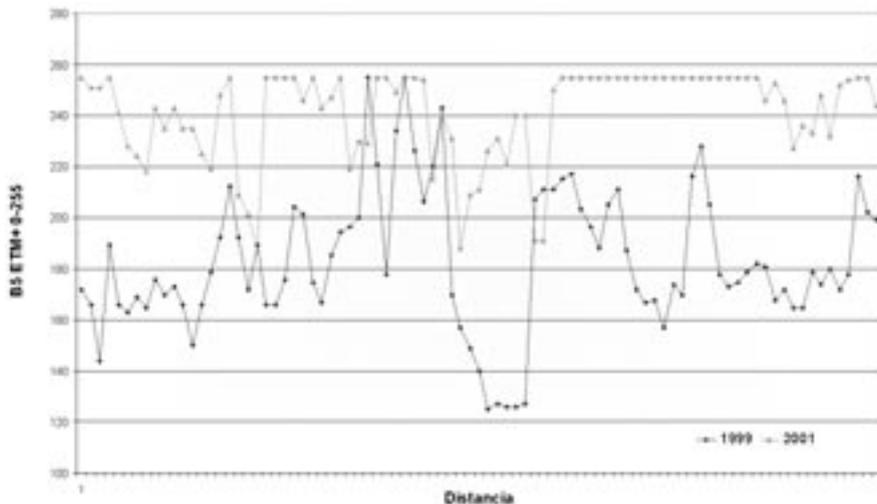
alta y media tensión además del gasoducto y el oleoducto; la cañada Real Galiana (Sur) de merinas, con sus ramales de la cañada del Congosto y la del Santísimo; las canteras de las Cumbres de Vallecas, del Olivar, La Torrecilla, etc; las lagunas de Perales y las márgenes de los arroyos Culebro y de La Gavía.

Sobre este caleidoscopio de actividades y usos hay que sumar un fuerte entramado industrial junto a municipios con predominancia del sector agrícola. El crecimiento en el conjunto del área, es generalizado, y se sostiene, muy en primer lugar, por el alto ritmo de conmutación mantenido, tanto hacia Madrid como hacia el Mediterráneo: «resulta interesante resaltar que Rivas-Vaciamadrid es la localidad que registra el mayor número de viajes hacia Madrid, el 42,7%, seguida de Coslada con el 25,3%, en lo que a transporte público se refiere» (MOPU, Estudio Informativo N-III. Variante entre la M-40 y la Zona de Arganda-Perales de Tajuña. Dirección General de Carreteras (Subdirección General de Planificación).

De nuestro análisis resaltamos seis puntos donde los cambios se singularizan por la celeridad en el tiempo y por el orden de magnitud de los mismos:

1. Expansión urbana en la margen sur de la Villa de Vallecas: en este punto el crecimiento inmobiliario se ha visto favorecido por las actuaciones municipales de saneamiento de núcleos marginales de venta y distribución de droga (poblado de La Rosilla). La construcción de viviendas en este punto da respuesta a la demanda efectuada por *los hijos* de la primera generación que consolidó el crecimiento urbano del área del Puente de Vallecas, entre la M30 y la M40. Muchos de los nuevos compradores de vivienda serán las primeras generaciones que se independizan del hogar paterno y lo harán a una zona cercana y conocida, sobrepasada la M40, pero en el mismo entorno Vallecano. La infraestructura ferroviaria (líneas de cercanías C1, C2 y C7), la extensión de la línea 1 de metro y el nuevo cinturón Sur de acceso hacen, si cabe, más propicio el crecimiento urbano, terminando con usos marginales, eriales y cultivos de secano. Estos hechos los constatamos en las imágenes a partir de los valores espectrales de cortes espaciales sobre un mismo transecto para las distintas fechas. Podía aducirse en contra del método aplicado la diferencia de fechas de las imágenes y por tanto el distinto contenido de humedad o de desarrollo fenológico de las cubiertas. Esto resultaría cuestionable dentro de unos límites, pero no en el caso de valores espectrales que evidencian suelo desnudo, es decir, registros que en 22 meses pasan de valores razonables para su categoría de cubierta (por ejemplo cultivos de se-

FIGURA 4
Imagen Landsat ETM+ de 22-08-99. Banda 5.
Realce mediante filtro de resalte de bordes



cano en B5 ETM+ oscilan entre 150 y 190) al valor extremo de suelo desnudo (Figura 4).

2. Expansión urbana de Rivas Urbanizaciones. Los problemas de marginalidad apuntados anteriormente no se dan en este caso. El desarrollo inmobiliario en estas urbanizaciones se debe, en mayor medida, a la demanda de nuevas viviendas, en su mayoría adosados o comunidades de vecinos con zonas ajardinadas. En el período que consideramos, ciertos tipos de explosión urbanística se han visto favorecidos por la entrada en vigor de la nueva moneda Europea, con una regulación monetaria y fiscal que ha favorecido las inversiones en nueva construcción. En el caso del crecimiento de las urbanizaciones de Rivas también ha influido la extensión de la línea 9 de metro, hasta Puerta de Arganda; se ha mejorado notablemente la conmutación diaria con el centro urbano, ayudando a salvar el *cuello de botella* circulatorio de la NIII, lo cual ha aumentado el atractivo residencial de este emplazamiento. El crecimiento es especialmente manifiesto al sur de Santa Mónica, ocupando una antigua extracción de yesos. En nuestra comparación hemos contabilizado algo más de 90ha. de expansión urbanística en los 22 meses estudiados. De nuevo, los valores espectrales cambian de 145-147 en 1999 a 250 en 2001.

3. Radial R3 M40-Arganda: este es el cambio más notorio registrado en la imagen de junio de 2001, sorprendente por su magnitud, extensión y rapidez de actuación ya que 22 meses antes no se registraban movimientos de tierras en la zona de estudio. Esta vía radial tiene su origen en el Distribuidor Este (prolongación de O'Donnell), siguiendo por el norte de Vicálvaro. Con rumbo este, cruza el río Jarama a la altura de Mejorada del Campo y lo bordea al sur, entre este municipio y Velilla. Ya en el ámbito de nuestra zona de estudio cambia de rumbo hacia el sur, hasta cruzarse con la M-300 al norte de Arganda. De allí se dirige con rumbo sudeste hasta conectar con la NIII, donde finaliza actualmente la variante de Arganda. La longitud total de esta radial es de 30km y su construcción ha sido célebremente polémica e impopular por tratarse de una autopista de peaje. A partir de las mejoras espaciales efectuadas sobre la imagen y, con el soporte del modelo digital del terreno será posible efectuar una clasificación de usos para estimar la pérdida de superficies y usos que conllevan este tipo de actuaciones. En el área de estudio, este trazado vial afecta a las siguientes unidades de terreno: valle y terrazas del Jarama (desde el p.k. 9,5 al p.k. 20,5 del trazado del vial) y el ascenso al páramo y páramo (desde el p.k. 20,5 a la confluencia con la NIII). Constatamos en las imágenes los mismos valores de cambio ya comentados en los puntos 1 y 2.
4. Cinturón sur de comunicaciones: tal y como comentamos en el primer punto, este acceso al centro de la *almendra* urbana comienza en la NIII, al sur de Santa Eugenia, delinea un amplio semicírculo al sur de la Villa de Vallecas y Mercamadrid, hasta enlazar con el nudo Super-sur de la M40. Las obras de corrimiento de tierras ya eran perceptibles dos años antes. En la imagen de agosto de 1999 resaltan los distintos tramos de obra, pero todavía discontinuos. En buena medida, este cinturón sur de comunicaciones junto con la Radial R3 vienen a solventar los problemas de congestión que sufre la NIII, sobre todo hasta el p.k 10 (Santa Eugenia).
5. Radial R4 M40-Ocaña. En este caso confluyen, de nuevo algunos de los factores ya comentados en el punto 3 para el caso de la radial R3. La necesidad de desahogar la intensidad de tráfico registrado en la NIV ha llevado al gobierno Autonómico a proyectar esta radial en los mismos términos que la anterior. En nuestra zona de estudio este vial comienza en su conexión con el Cinturón sur (sector de Mercamadrid) y transcurre entre la actual NIV y el Cerro de Los Ángeles. La imagen de agosto de 1999 registra en inicio del movimiento de tierras del trazado, mientras que en la imagen de 2001 la *cicatriz* de suelo desnudo es manifiesta en todo su trazado.

6. Instalaciones del Parque de Ocio en San Martín de la Vega. Esta ha sido una de las grandes inversiones del Gobierno Autonómico, siguiendo las directrices de sectorización de la producción marcadas por la Unión Europea para los Estados Miembros; el Parque de Ocio, inaugurado en mayo de 2002, se ha convertido en motor de otros muchos sectores de producción: turístico, hotelero, transportes, servicios entorno al ocio, etc. Las tareas de construcción se iniciaron a finales de 1998, por lo que el movimiento de tierras se registra claramente en la imagen de 1999; en la imagen de 2001 se notan diferencias, en el sentido de la consolidación de las edificaciones, viales de acceso más nítidos e, incluso, el relleno de los recintos acuáticos artificiales del parque.

Además de lo apuntado, se ha podido constatar la expansión generalizada de las abundantes canteras yesíferas y de extracción de áridos que surcan la zona. Esto es más que previsible, dadas las circunstancias de fuertes inversiones en construcción pública e inmobiliaria en la misma zona. Se ha medido la expansión del límite de las canteras mediante la composición de una nueva imagen multitemporal con canales de distintas fechas, de manera que su proyección en RGB evidencia las diferencias de los perímetros de las canteras entre las dos fechas (RGB, TM5 1999, TM5 2001, *high pass edge enhance convolution filter* 2001). La misma verificación se ha aplicado a las seis áreas de cambio comentadas. La comparación visual también se ha realizado con solo dos imágenes, aplicando el cañón rojo la banda 5 de la imagen de 1999 y el verde a la banda 5 de la imagen de 2001; aunque no es posible reproducir en este ámbito los matices cromáticos, las áreas más estables se muestran en amarillo, mientras que los puntos de cambio comentados se aprecian en tonalidades rojizas.

Las imágenes de Landsat ETM+ resultan muy apropiadas para el seguimiento temporal y la evaluación de cambios de uso de suelo en zonas periurbanas. La cuantificación de superficies que han variado resulta inmediata. El análisis de imagen mediante filtros de mejora espacial es un primer paso, sencillo pero necesario para el análisis visual y para la posterior clasificación temática. Además de los resultados comentados, en relación con la discusión sobre el grado de idoneidad de los datos de teledetección para estudios urbanos, hemos constatado la utilidad y grado de ajuste de los datos proporcionados por el sensor ETM+ para el caso de un área periurbana, donde, si bien encontramos un gran abanico de registros espectrales, las cubiertas tienen el suficiente tamaño y grado de diferenciación con las adyacentes como para mantener su propia identidad y autonomía, sin el grado de confusión de tejidos urbanos más abigarrados.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA, M. J.; BORDERÍAS, M. P., GONZÁLEZ, M. P.; SANTOS, J. M. (1991): «Geografía General II. Geografía Humana». UNED. Madrid.
- ARMESTO, J.; GIL, M. L. (2001): «Método automático de extracción de vías de comunicación a partir de las imágenes IRS-P». En *Teledetección, medio ambiente y cambio global*. (Rosell y Martínez-Casanovas, Coord.), Universitat de Lleida.
- MATHER, P. M. (1999): «Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction». University of Nottingham, John Wiley y Sons, Ltd., Chichester,UK.
- MOLINA, G. Z.; CHUVIECO, E. (1995): «Detección de crecimiento urbano en la ciudad de Maracaibo (Venezuela) mediante análisis multitemporal de imágenes MSS y TM». VI Reunión científica de la asociación Española de teledetección. Valladolid.