



Antes de mostrar los diferentes modos de desarrollo de la construcción en la aglomeración quieta, parece necesario describir rápidamente el método utilizado para integrar imágenes a un SIG y luego los tratamientos de imágenes que se pueden efectuar.

### **La integración de las imágenes a la base de datos: la rectificación geométrica**

¿Cómo obtener un conjunto coherente de imágenes de diferentes fechas y provenientes de satélites distintos o de fotografías aéreas? Dicho conjunto debe poder ser manejado por un SIG de manera geográficamente exacta, sin tener que trasladar manualmente, como en el pasado, la información proveniente de una imagen a un mapa que se sitúa en otro referencial geográfico. Nuestro método comprende algunos aspectos nuevos que conviene detallar. Se pueden distinguir dos fases, cada una de las cuales obedece a imperativos particulares. La primera es la superposición de imágenes. Sabemos que una fotografía aérea y una imagen Spot no pueden superponerse directamente, pero lo mismo sucede con dos imágenes Spot tomadas en dos fechas distintas, pues rara vez habrán sido tomadas desde el mismo ángulo. Para acoplar las imágenes, utilizamos el método de búsqueda automática de puntos homólogos por correlación de imágenes. La segunda fase consiste en superponer correctamente las imágenes y la cartografía de referencia. Es más difícil, pues los dos tipos de documento son de diferente naturaleza, simbólica en el caso de la cartografía y demasiado « objetiva » en el caso de las imágenes. La superposición se efectuará en una red de puntos de control que se tomarán manualmente ya sea de los documentos estrictamente cartográficos o de las coordenadas geográficas proporcionados por el sistema GPS (*Global Positioning System*).

En las dos etapas, la rectificación consistirá en efectuar localmente una transformación lineal que incluya la rotación, la traslación y el cambio de escala. En cada zona, creada por los triángulos formados por los puntos homólogos, nos podemos contentar con semejante aproximación.

### **El manejo de las imágenes**

Uno de los problemas de la utilización de las imágenes aerospaciales es el importante volumen de datos. Para adaptarnos mejor al equipo disponible actualmente, resolvimos trabajar por « pequeñas » zonas de 2.000 x 3.000 píxeles de 10 metros, lo que representa 20 x 30 km, es decir aproximadamente el tamaño de una hoja cartográfica del IGM. La manipulación de esas imágenes requiere una memoria viva (RAM) de apenas 16 Mb y el almacenamiento simultáneo de imágenes de diferentes fechas de que disponemos demanda una memoria muerta de 50 Mb. Luego de la integración a la base de datos, el sistema Savane efectúa las operaciones necesarias de "mosaico" que permiten trabajar en una ventana y con cualquier resolución. Esto permite trabajar, a condición sin embargo de que existan las imágenes. Esto constituye una limitación muy importante en la utilización de esta técnica. Por un lado, una imagen SPOT no cubre la totalidad del distrito, y por otra, la nubosidad no permite esperar más de una imagen utilizable cada dos años (A. Michel, 1988).

### **La superposición de dos imágenes de tono gris**

¿Cómo se efectúa automáticamente la toma de los puntos homólogos para construir un modelo de adaptación a una imagen de referencia para cada una de las hojas del IGM ? Se puede buscar la posición de un punto de la imagen de referencia en la imagen a superponerse mediante el cálculo de un índice de similitud. Este se efectúa en una pequeña región, por ejemplo en un cuadrado de 10 píxeles por 10. Así, para un tamaño de imagen de 2.000 x 3.000 píxeles, se pueden ingresar 10.000 puntos homólogos en menos de una hora. El método es eficaz si las imágenes son similares, pero surgen ciertos problemas cuando las imágenes son muy diferentes una de otra, lo cual se puede producir en caso de cambio real en la ocupación del suelo, aunque también en caso

de rotación de cultivos por diferencia de estación o si existe una nube en una de las dos imágenes. Se recurre entonces a la toma del punto de apoyo por estimación visual, método bastante eficaz pero por supuesto sumamente largo. Mediante ese método, se tiene la posibilidad de superponer rápidamente cualquier imagen recién obtenida al corpus ya existente.

### **La superposición a la « referencia »**

Para construir el modelo de adaptación a la cartografía de referencia, común a todas las imágenes, se buscan puntos identificables en el mapa y en la imagen, esencialmente intersecciones de vías. Parte de la cartografía es falsa, ya sea por la imprecisión del levantamiento o por errores de dibujo cartográfico, por falta de actualidad de la información como la representación de un eje vial en proyecto, que posteriormente es ejecutado de manera distinta. No siempre es fácil encontrar puntos que puedan localizarse con precisión al mismo tiempo en el mapa y en una imagen. Además, en nuestra base de datos no disponemos de toda la cartografía necesaria para efectuar ese trabajo. Por esta razón, en las partes no urbanizadas, se debe recurrir al único dato disponible: las curvas de nivel. Es evidente que en una imagen satelitaria no se puede ver una curva de nivel. Se debe entonces recurrir a un artificio para poder efectuar la identificación. Este consiste en crear, a partir de las curvas de nivel, una imagen de la superficie por iluminación de un sol artificial. Por supuesto, tal imagen no toma en cuenta las diferencias de reflectancia inducidas por el estado variable de la superficie del suelo, aunque tiene una semejanza suficiente con una imagen SPOT pancromática como para poder utilizarla correctamente. Se plantea entonces un método que puede ser iterativo. El elemento que se trata de salvaguardar no es tanto la imagen superpuesta como el modelo de deformación aplicable a la imagen, el mismo que siempre puede perfeccionarse. En primer término nos contentamos con una superposición a veces aproximada, por falta de datos, reservándonos la posibilidad de modificar más tarde el archivo que contiene los parámetros de transformación. Este trabajo de integración es denso y fastidioso. Vamos a ver sin embargo que la interpretación de imágenes superpuestas presenta considerables ventajas tanto por la interpretación como por la ayuda que pueden aportar los tratamientos numéricos.

### **El tratamiento de los datos imagen**

¿Que se puede hacer con este conjunto de imágenes? Efectuar, por ejemplo, identificación del objeto en una reproducción en papel, clasificaciones que permiten obtener índices de porcentaje de construcción o comparaciones diacrónicas que posibilitan medir la evolución de la construcción.

### **La restitución de imágenes**

Una manera tradicional de explotar las imágenes de teledetección consiste en su foto-interpretación. Nuestro método presenta la ventaja de proporcionar documentos en papel o transparentes que pueden superponerse directamente a la cartografía existente lo que se puede hacer en El CLIRSEN o el IGM.

### **La clasificación multispectral**

Un método bastante antiguo de explotación de los datos es la clasificación multispectral. Cada « objeto » presenta una respuesta espectral particular. Si se representan en abscisas los valores de reflectancia del canal rojo de Spot y en ordenadas los valores del canal « infra-rojo », se obtiene un histograma bidimensional que describe el comportamiento espectral de

los objetos. Los métodos de división de este histograma son numerosos y se pueden integrar fácilmente más de 2 canales a la clasificación.

Desgraciadamente, la relación « objeto <--> « firma espectral » está lejos de ser biunívoca: primeramente, un objeto puede tener varias firmas espectrales; se podría hablar de colores si nos limitáramos siempre a la utilización de la luz visible — por ejemplo, el objeto « techo » tiene una firma espectral diferente según sea de teja o de zinc, de teja barnizada o natural; el verde de un bosque de eucaliptos de 10 años no es en absoluto el mismo que el de un bosque de árboles jóvenes —; en segundo lugar, el mismo « color » puede corresponder a « objetos » diferentes, el mismo gris podría corresponder a asfalto o a un techo de « eternit ».

## La creación de un índice de densidad de la construcción

### Creación de un índice de vegetación (IVN)

Las propiedades espectrales de la vegetación, baja reflectancia en el espectro visible y fuerte reflectancia en el infrarrojo, nos van a permitir crear un índice de vegetación por sustracción del valor de reflectancia en el visible del valor del infrarrojo. Tradicionalmente, se utiliza el índice de vegetación normalizado:

$$\text{IVN: } [1 + (\text{infrarrojo} - \text{rojo} / \text{infrarrojo} + \text{rojo})] * 128$$

La obtención de ese índice es simple e inmediata, pero su utilización es menos simple .

### Transformación del índice de vegetación en índice de densidad de la construcción

Se trata de obtener los parámetros de una ecuación que permita pasar de un índice de vegetación no necesariamente muy útil, a un índice de construcción no captado por el censo. Una muestra nos va a permitir efectuar la correlación entre el valor del índice de vegetación y el porcentaje de superficie construida.

Constitución de la muestra:

Los individuos cuya colección va a constituir la muestra deben ser los mismos en la imagen y en el terreno. *A priori*, se podría pensar que la muestra de la imagen puede estar constituida de una muestra de píxeles, pero cuando nos situamos a nivel del pixel de 10 metros de lado, un índice de densidad de construcción no tiene gran significación. Una densidad de construcción por hectárea (100 píxeles) podría utilizarse, pero en la práctica es difícil identificar el lugar exacto de los cien píxeles correspondientes. En el terreno, es más fácil efectuar una medida de la densidad de la construcción en la manzana.

¿Cómo podemos obtener una lista de manzanas que comprenda la densidad de construcción y el valor del índice de vegetación? Levantar en el terreno la densidad de construcción de un centenar de manzanas es un trabajo considerable y que puede presentar muchos errores. Nos parece más confiable utilizar fotografías aéreas de las que podemos disponer. Las fechas no corresponden exactamente, junio de 1986 en el caso de SPOT y noviembre de 1987 en el caso de la fotografía aérea, pero la nube de puntos formada será muy cercana a una recta de regresión utilizable.

Se constituye una muestra de manzanas levantando los números que las identifican en la base de datos. Observemos que vale más efectuar una selección espacial sistemática más que una selección sistemática en lista. Se obtiene entonces una lista de manzanas con su correspondiente



## **Modos de desarrollo de la construcción**

Aún no hemos efectuado la integración de las imágenes de toda la ciudad y menos aún de todo el distrito. Sin embargo, sin dar cifras precisas por manzana o parroquia, podemos constatar algunos hechos que habrá que precisar en Quito en su conjunto. ¿Qué se ha podido constatar en las imágenes, que pueda permitir mejorar el diagnóstico del distrito?

### **Quito es un modelo de ciudad de baja densidad**

En cuanto a la densidad de construcción, los datos comparativos son aún difíciles de reunir, pero podemos realizar una comparación con datos de población. Incluso si los datos de densidad son siempre difíciles de manejar, se puede observar que Quito es una ciudad americana, es decir de baja densidad promedio por hectárea. Esta es de 58 hab/ha en las 19.176 ha de 1991, mientras que Bogotá, con 15.870 ha urbanizadas tiene una densidad de 251 hab/ha.

Esa baja densidad se ve muy bien en las imágenes. Bogotá presenta una transición mucho más clara entre la ciudad y el exterior agrícola, presentando al mismo tiempo superficies « verdes » internas mucho más importantes. En efecto, en muchos barrios, incluso centrales como los alrededores del parque de La Carolina, quedan grandes espacios por construir. El espacio intersticial en Quito parece representar una superficie considerable. El mismo fenómeno se constata al Norte en donde es aún más marcado en ciertos barrios de vocación industrial. Esto explica en parte la construcción tan importante que se puede constatar entre 1986 y 1990 en los barrios centro-Norte de Quito. La superficie recientemente construida es más importante en Quito mismo que en el exterior, a pesar de operaciones de urbanización como la de Carapungo.

### **¿Y la defensa del « cinturón verde »?**

En los planes maestros de la ciudad (1980), se observa una gran zona de protección que rodea a la ciudad por todos los lados. Ese « cinturón verde » tiene pocas zonas forestales. Los mapas de ocupación del suelo o la imagen satelitaria nos muestra la exigüidad de la zona realmente forestal. En 1986, apenas el 10 % del « cinturón verde » está efectivamente ocupado por bosques.. Se debe señalar que estos están compuestos esencialmente de eucaliptos. Se trata entonces de un bosque de rápida rotación que representa un capital a corto plazo.

El importante y continuo « apolillado » del « cinturón verde », que podría explicarse como si el acceso a los terrenos más próximos al centro fuera particularmente difícil, va a adquirir proporciones, en el sentido literal, sumamente importantes. Tal fenómeno no se debe probablemente sólo a la construcción de residencias de lujo en partes boscosas, sino también a « urbanizaciones » de baja calidad vendidas sin aducción de agua ni alcantarillado como Osorio o El Triunfo en San Carlos. La comparación, gracias al SUIM, de la zona considerada como « zona de protección ecológica » con los puntos de construcción, revela que los textos reglamentarios no han tenido consecuencias. Pero, ¿qué es el « cinturón verde » en la parte sur? ¡Eencialmente cultivos de maíz, de papa y pastos! Y algunas plantas de fréjol con flores rojas. El estudio de las imágenes satelitarias muestra que sin tener en cuenta el páramo, el bosque ocupaba, en 1986, el 10 % del « cinturón verde », pero que las destrucciones de 1986 a 1990, es decir en menos de 4 años, han afectado al 10 % de ese espacio forestal, y ello, sin que haya habido realmente un sitio privilegiado. La destrucción se ha operado más o menos en todo lado. Ha habido ciertamente algunas reforestaciones, pero estas se observan sobre todo al exterior de Quito, sobre todo en el valle.

La teledetección permite constatar un fenómeno muy particular que puede revelarse como el signo de una estrategia a largo plazo. Las grandes obras en zonas boscosas tienen en efecto el

aspecto de obras de urbanización, y luego se presencia un repunte forestal que, con eucaliptos, puede ser relativamente rápido.

### **¿Han sido todas las urbanizaciones bien logradas?**

En particular en la parte sur de la ciudad o en el valle, se observa además un fenómeno un tanto diferente: superficies enteras están urbanizadas pero vacías. Las imágenes pueden permitir interrogarse sobre la política de urbanización o más precisamente sobre las operaciones de « vivienda » efectuadas por instituciones o particulares. Tomemos el ejemplo de la urbanización, fuera del Distrito Metropolitano. Se trata de una urbanización que puede pasar completamente desapercibida a los ojos de un observador « de campo ». ¡Apenas se ven algunas vacas en un entorno muy campestre! Sin embargo, en 1983, más de 10 ha se acondicionaron, con vías, alcantarillado y electricidad. Pero este es un caso extremo, el lugar era muy lejano, en la prolongaciones de las extensiones prometedoras del valle. Ahora parece aún más lejano.

Esto se cierto igualmente en lugares mucho más cercanos como el barrio Mariana de Jesús o el triángulo « Palermo » entre la calle Emilio Uzcátegui y la avenida Vencedores de Pichincha un poco más al Sur. ¿Cómo considerar entonces el barrio de Las Cuadras y toda la operación municipal de Quitumbe, a no ser como reservas territoriales ?

### **Las construcciones sin urbanización**

La extensión urbana no presenta nunca un frente continuo, particularmente en Quito. No es una ola, sino más bien manchas de humedad si se quiere emplear un término despectivo. No es una siembra o un enjambre, sino frecuentemente un lento desarrollo difuso de un hábitat que pasa a menudo insensiblemente de lo rural a lo urbano. Las imágenes muestran que la construcción no se efectúa, como se podría pensar, solamente en los terrenos equipados. En Quito, se constata prácticamente lo contrario. Ya sea en la parte sur de la planicie o sobre todo en el valle de Los Chillos, las imágenes muestran el importante número de casas individuales (estándar quiteño) que se construyen fuera de las urbanizaciones, a veces justo al lado.

Se constata una oposición entre el valle y la planicie. En el primero, numerosas urbanizaciones han sido programadas y realizadas parcialmente, y ello incluso muy al Sur de Sangolquí. Muchas no han sido realmente construidas. En la planicie, a la inversa, las operaciones de urbanización han sido menos numerosas pero la construcción más importante. Así, las imágenes muestran la « explosión » de los barrios situados al Oeste de San Fernando, al Sur de la avenida Vencedores de Pichincha. Este crecimiento era previsible desde 1986, como lo mostraba la diferencia entre las imágenes de junio y las de noviembre de 1986 (A. Michel). Desde entonces, el fenómeno se ha amplificado. Es sorprendente constatar que la nueva superficie construida es más importante fuera de las zonas urbanizadas que al interior de ellas. Todo se produce como si se hubiera previsto un movimiento migratorio en dirección del valle y como si se hubiera acondicionado el espacio en consecuencia. Las operaciones de urbanización no son el único testimonio de ello. La construcción de la autopista y luego de la Vía oriental y de la Nueva Oriental forman parte probablemente del mismo esquema. Tal movimiento no tuvo lugar en realidad.

### **La teledetección presenta limitaciones y ventajas**

Para efectuar correctamente el estudio del desarrollo de la construcción en Quito, habría que poder tomar en cuenta la altura de la edificación. Si bien Quito es más bien una ciudad de villas, es cierto también que existen numerosos barrios compuestos de edificios de 3 ó 4 pisos. El boom inmobiliario constatado desde 1987 de la avenida Patria a la avenida Gaspar de

