

La integración de nuevas y diversas tecnologías de información geográfica aplicadas al campo del desarrollo regional

1. INTRODUCCIÓN

Inventarios y levantamientos de todo tipo, el análisis y procesamiento de imágenes fotográficas o de satélite, el posicionamiento global con satélite y los sistemas de información geográfica son algunas de las herramientas que combinan diferentes requerimientos de información a diferentes niveles y para diferentes objetivos.

Muchos planificadores concuerdan con la importancia que reviste la información georreferenciada para la elaboración de planes, programas y políticas de desarrollo de unidades territoriales por parte de los gobiernos regionales. Así, un posible sistema de información geográfica territorial poseería vital importancia ya que permitiría referenciar espacialmente la información que la región necesita ayudando a conocer dónde se localizan geográficamente los sectores que aquélla debe de asistir.

La necesidad de aplicar un sistema de información geográfica a nivel regional es también el cauce que tiene aquélla de conocer los atributos espaciales de su territorio, lo cual, sin duda, facilita la toma de decisiones y optimiza la administración de recursos.

Dada la formación del geógrafo, caracterizada por su capacidad para el manejo y análisis de información georreferenciada, por su experiencia en trabajos de campo, por su mentalidad integradora de interrelaciones temporales-espaciales y la necesidad de llevar a cabo un sistema con los atributos de las unidades

territoriales, esta labor debería ser ejecutada por un profesional capaz de compatibilizar la información del terreno con los requerimientos lógicos del sistema y a la vez satisfacer las necesidades específicas de una región. En este contexto el geógrafo puede demostrar ser un profesional altamente competente para la ejecución de esta tarea.

Debido a la gran cantidad de información territorial disponible y debido fundamentalmente a la creciente aplicación de modernas técnicas, el manejo manual se hizo cada vez más difícil e ineficiente por su costo en tiempo y dinero. Es por esto que se han venido desarrollando y se han venido ampliando los campos de aplicación en los últimos dos años con la comercialización y disponibilidad pública a costos más efectivos de las tecnologías digitales tanto para ingeniería como para geografía, teniendo los geógrafos una parte muy importante en el desarrollo de aquéllas y en su futuro perfeccionamiento.

Este escrito presenta cómo estas tecnologías están todas siendo integradas y utilizadas para crear bases de datos de grandes sistemas de información geográfica, entre ellos los sistemas regionales.

2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES

Repasaremos primero algunos esfuerzos destacados que se han realizado con el objeto de fomentar los levantamientos integrados, precursores de los actuales SIG, para luego pasar a definir y comentar acerca de las nuevas tecnologías.

2.1. Levantamientos Integrados

La mayoría de las personas en este mundo, sean nómadas, pescadores, agricultores o habitantes de las ciudades, se ocupan básicamente de lo mismo:

- luchar por la sobrevivencia y mejorar su nivel de vida.

Estos habitantes del mundo, sin saberlo en la mayoría de los casos, no hacen otra cosa que:

- identificar problemas y delimitar aspiraciones,
- reunir, seleccionar y combinar información,

- explorar alternativas posibles,
- planificar y finalmente decidir qué acción tomar.

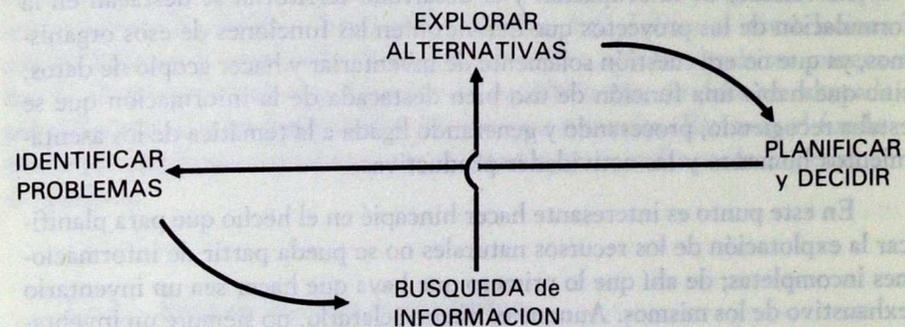


FIG. 1: La esencia del proceso de solución de problemas.

Lo que esta gente practica en este esquema cotidiano de encarar problemas y buscar soluciones, sumado a la evidencia de la interacción entre los elementos de la figura, provee el marco ideal para la existencia y la operatividad de, probablemente, la base de lo que se dio en llamar *Estudios o Levantamientos Integrados*.

En una primera etapa los estudios fueron unilaterales, llevados a cabo por profesionales de una sola disciplina, con lo que se tendía a perder la visión de conjunto, o integrada, de los recursos.

Más tarde se tomó conciencia de que había discordancia entre los trabajos de planificación y los de investigación de recursos naturales y se procedió a encarar estudios integrados, con enfoques metodológicos diversos, pero con el denominador común de lo integrado y al mismo tiempo relacionados con la planificación, especialmente la regional.

De ahí que se crearon en Latinoamérica instituciones estatales que pasaron a ser las encargadas de los inventarios, la evaluación y el manejo de la información sobre los recursos naturales. Se crearon la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) de Perú, en 1962, y el Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales (IREN), en abril de 1964, en Chile.

En ambos casos la creación del nuevo organismo provocó un aumento del número de organismos encargados de la información sobre los recursos natu-

rales, y en cada caso la creación del nuevo organismo coincidió con los intentos de establecer en los gobiernos un sistema de planificación más desarrollado y articulado con el resto de los organismos de estado.

La variable de la ocupación y el desarrollo territorial se destacan en la formulación de los proyectos que derivaron en las funciones de esos organismos, ya que no era cuestión solamente de inventariar y hacer acopio de datos, sino que había una función de uso bien destacada de la información que se estaba recogiendo, procesando y generando ligada a la temática de los asentamientos humanos y las actividades productivas.

En este punto es interesante hacer hincapié en el hecho que para planificar la explotación de los recursos naturales no se pueda partir de informaciones incompletas; de ahí que lo primero que haya que hacer sea un inventario exhaustivo de los mismos. Aunque es bueno aclararlo, no siempre un inventario completo es la base indispensable para poder estar en condiciones de tomar decisiones sobre el uso y el aprovechamiento de los recursos naturales.

En otras palabras, los levantamientos integrados están indisolublemente ligados a los procesos de desarrollo de proyectos, de integración de actividades de información y de toma de decisiones en materia de planificación e inversión.

2.1.1. Conceptos

Habitualmente se entiende por *estudio integrado de recursos naturales* a un estudio simultáneo de todos los recursos de una zona con la colaboración de especialistas en distintas disciplinas.

Vink (1966) destaca en la definición del concepto de levantamientos integrados «la preparación coordinada, ejecución y evaluación de levantamientos topográficos, levantamientos de recursos naturales y levantamientos de recursos humanos, de tal manera que sea obtenida una figura comprensiva de la situación del hombre en su ambiente natural, en la forma de una serie de mapas e informes».

Otras definiciones resaltan más la preocupación por los participantes en el proceso de planificación y ejecución de los levantamientos: «son levantamientos de carácter global que incluyen un número de disciplinas científicas que todas juntas forman una gran unidad científica. Cada una de las disciplinas debe aceptar una posición subordinada dentro del contexto total del levanta-

tamiento, pero sin perder su individualidad y carácter propio» (Mohrmann, 1973).

La realización de levantamientos de tipo integrado tiene su justificación en el hecho que hay una «unidad de la naturaleza» (Lizárraga, 1976) que interrelaciona los distintos fenómenos naturales. Así, el clima se interrelaciona con los suelos y la vegetación; la historia climática, con los depósitos minerales. Es decir que existe una situación de equilibrio que no debe ser alterada por el hombre que va a aprovechar los recursos naturales. Ese sería el fundamento principal para considerar todo el sistema y para poder predecir y evaluar el resultado.

2.1.2. Revisión histórica y esquemática; hacia el concepto de Integración de los Levantamientos («Survey Integration»)

En las últimas tres décadas han habido enormes cantidades de investigaciones que prácticamente han generado datos o información de todo tipo de regiones del mundo y de todos los tipos de campos de trabajo.

No obstante, el aumento de los planes y proyectos de desarrollo y la complejidad de los problemas relacionados con programas de acción requieren de más información y datos concretos. Los mayores requerimientos de información van enfatizando los aspectos que tienen que ver con los procedimientos de recolección de datos, es decir con la forma de recoger los datos.

El interés de los planificadores del desarrollo fue recayendo en las aproximaciones científicas y tecnológicas hacia los levantamientos.

En los años 50 aparecen los primeros acercamientos hacia lo que se empezó a llamar *disciplina de los levantamientos*. En las diferentes ramas de las ciencias naturales comienza a apreciarse gran interés en datos de campo y empiezan a aparecer modelos que permiten, de alguna manera, diseñar líneas especializadas de levantamientos de las diferentes disciplinas, sin todavía incluir a las ciencias sociales.

El término *Levantamiento Integrado* («Integrated Survey») apareció a fines de los 60 y se convirtió en una especialización (J. M. M. van den Broek, 1971).

Cuando apareció se convirtió en algo más que una simple combinación

de disciplinas buscando información básica. Pasó a ser una forma de investigar críticamente los problemas del desarrollo.

La necesidad de los levantamientos integrados en la planificación del desarrollo se basó en los siguientes aspectos:

- La *complejidad del desarrollo* que requiere de una acción multidisciplinaria. Las últimas tres décadas han mostrado una evolución en los puntos de vista del *desarrollo* desde las estrategias de crecimiento del PGB hasta la elaboración de estrategias de necesidades básicas, lo que involucra un aumento de la cantidad de especialistas requeridos.
- La *urgencia de los problemas del desarrollo* que requiere de levantamientos eficientes. En los últimos veinte años, a pesar de la cantidad de estudios y extensas investigaciones, muy poco se ha avanzado para eliminar los problemas de los países más pobres, lo que indica la necesidad de una planificación más eficiente en la ejecución de los levantamientos.
- El *aumento de la especialización* que requiere de equipos de investigadores. La educación superior hoy en día está totalmente estructurada en torno a una disciplina específica, lo que fue apartando a los especialistas unos de otros. Ya que un profesional solo no puede cubrir todos los aspectos de la complejidad de problemas, un equipo de especialistas debe ser creado entonces.
- Las *tecnologías avanzadas* que se deben adaptar a los levantamientos. El rol de la tecnología pareciera que fue tanto subestimado y sobreestimado como herramienta para establecer una base de recursos para el desarrollo. El acceso a la tecnología requiere de estrategias y metodologías de tipo analítico y de esfuerzos combinados de planificadores, científicos y técnicos para conseguir maximizar el uso de los recursos.

A diferencia de los estudios interdisciplinarios de naturaleza académica que tienen una tendencia hacia el estancamiento, los levantamientos integrados son dinámicos y flexibles. Esto es debido básicamente al concepto cambiante del tema del desarrollo.

A lo largo de los últimos cincuenta años, sin duda, los puntos de vista sobre el desarrollo han cambiado desde una aproximación técnica-económica a una socio-política. Tal cambio fue el resultado de reconocer que el desarro-

llo incluía los aspectos sociales, culturales, administrativos y políticos de todo el sistema. La idea que el desarrollo sólo podía ser expresado en términos del crecimiento del PIB era claramente una simplificación muy burda, o sea, era utilizar un indicador muy pobre.

Se llegó al concepto de desarrollo que actualmente se maneja, que fue alternativamente descrito ya antes en términos de:

- independencia económica,
- alivio de la pobreza,
- distribución de la riqueza,
- establecimiento de un nuevo orden económico (adhiriendo con los otros tres puntos de arriba).

Basándose en el punto de vista de las *necesidades básicas*, se produjo, entonces, una reformulación de los objetivos del desarrollo, enfatizando en las siguientes prioridades:

- satisfacción de las necesidades mínimas para el consumo familiar (alimento, ropa, abrigo),
- suministro de servicios públicos esenciales (educación, salud, transporte),
- dotación de empleos productivos,
- participación en la toma de decisiones.

Tal grado de cambio en los principios del desarrollo tuvo, indudablemente, un impacto y efecto significativos sobre las *opciones* de los levantamientos integrados. Hasta mediados del 60, la especialización, que iba en aumento, fue aplicada en proyectos especialmente relacionados con el uso de recursos naturales. Se destacaba la necesidad de la coordinación entre diferentes disciplinas y expertos, pero con las ciencias de la tierra tomando la delantera. Prevalcían los trabajos de equipo en terreno y las actividades fotogramétricas y cartográficas.

Un tiempo después la experiencia de las ciencias sociales fue rescatada para permitir hacer evaluaciones económicas ex-ante y no ex-post, como se venía haciendo. El acento, en este caso, fue puesto en el intercambio de información entre los especialistas en la planificación de las actividades de los levantamientos. Esto fue llevando hacia lo que se dio en llamar *integración hacia adentro* que, poniendo en un mismo contexto los resultados de diversos estudios, ya fueran éstos físicos, sociales o económicos proveyera de información

para la preparación de programas y proyectos específicos en donde los términos de referencia y las metas estuvieran perfectamente definidas, incluso aunque los objetivos y los componentes de los levantamientos no parecieran estar tan claros. En otras palabras, la integración hacia adentro, o interna, le dio importancia a la interpretación y evaluación de información para aplicaciones específicas más que a la realización de meros levantamientos de información básica.

En los comienzos de los años 70 empieza a manifestarse un interés creciente en los requerimientos de las bases de datos. Los investigadores y los técnicos empiezan a considerar *quién* hace *qué* con los datos y *para qué* y *cómo* serán usados. Los levantamientos integrados van apareciendo como orientados más hacia los *objetivos* y las *metas* de los levantamientos, y también dedicados a *resolver problemas* que se pudieran presentar en la fase de implementación de aquéllos.

Va creciendo en importancia el aspecto de tener en cuenta las necesidades globales de todas las partes interesadas en el diseño de los estudios y levantamientos. Empieza a haber una demanda de *integración externa* o integración hacia afuera, que implica considerar los requerimientos de los planificadores, de los políticos y de los beneficiarios de los levantamientos integrados.

A medida que la relación entre las actividades de los levantamientos y la planificación para el desarrollo se afianzó, se hizo imperativo que los objetivos de los levantamientos fueran definidos en diálogo con los planificadores y los tomadores de decisiones (CIAF, 1974).

Los levantamientos mismos se enfrentaron a las necesidades de los planificadores en secuencias de preguntas a ser resueltas. Al mismo tiempo los resultados, informes y mapas finales debían ser presentados en la forma de conclusiones y recomendaciones, presentando alternativas con indicaciones de los impactos y efectos laterales. La presentación de los datos e informaciones recopiladas pasó a ser, de alguna manera, readecuada para los propósitos de planificación y de toma de decisiones.

La tendencia ya relatada, que muestra un desarrollo del concepto de integración interna hacia una integración de tipo externo, es también lo que se ha venido observando en los grandes centros de planificación y evaluación de los recursos naturales europeos, como es el caso del Instituto Internacional de Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra (ITC), de Enschede, Holanda, donde se pasó del término *levantamientos integrados* («integrated surveys») al de *integración de los levantamientos* («integration surveys»).

En 1965 el ITC, luego de una conferencia internacional de la UNESCO en Toulouse sobre el uso de levantamientos aéreos en estudios de desarrollo de recursos, decidió crear un *Departamento de Levantamientos Integrados*. Como se decía más arriba, la evolución del concepto llevó en 1983 a la fusión del departamento de levantamientos integrados en uno más amplio de *Levantamientos de Recursos de la Tierra y Desarrollo Rural* y la creación de un grupo de trabajo que se pasó a llamar *Integración de los Levantamientos* («Survey Integration Group»), funcionando bajo supervisión del primero. El objetivo principal de este grupo pasó a ser el de actuar de intermediario entre aquellos actores sociales involucrados en el proceso de desarrollo y el de observar y preocuparse de los requerimientos y las respuestas posibles en términos de actividades del desarrollo (Luning, 1985).

Esos actores y participantes del desarrollo y sus interacciones son ilustradas en la figura 2. Esta figura muestra ciertas similitudes con la figura 1, que se refería al proceso de solución de problemas.

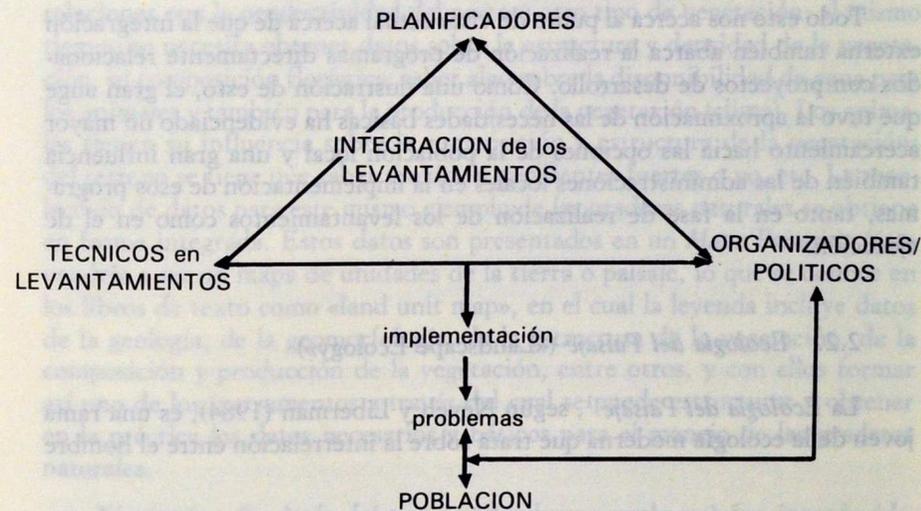


FIG. 2: Integración de los Levantamientos («Survey Integration»). Adaptado de Luning, 1985.

La figura muestra que la integración de los levantamientos opera en lo que se podría llamar un campo de tensiones entre las partes interesadas.

Para finalizar con esta reseña histórica de los levantamientos integrados

vale la pena acotar la enorme incidencia del capítulo ambiental, pero sobre todo a partir de Estocolmo-1972, en la aproximación interdisciplinaria que fue ganando cada vez más espacio.

Luego de la conferencia de Estocolmo quedó mucho más claro que ninguna de las ciencias y disciplinas tradicionales podía cubrir y resolver en su totalidad los problemas ambientales.

Sin embargo, las ciencias sociales fueron ganando un rol predominante, ya que para complementar la recolección de datos del medio físico y las evaluaciones de impacto ambiental fue necesario contar con una indicación de la *estructura administrativa* por la cual los resultados de los levantamientos pasaban a tener sentido (J. M. M. v/d Broek, 1978).

Por eso mismo se comenzó también a observar con más detenimiento a los *beneficiarios* del desarrollo. Lo mismo ocurrió con los aspectos jurídicos, ya que si éstos no son considerados ni evaluados adecuadamente, es muy fácil que puedan impedir la realización de actividades propuestas.

Todo esto nos acerca al punto de vista actual acerca de que la integración externa también abarca la realización de programas directamente relacionados con proyectos de desarrollo. Como una ilustración de esto, el gran auge que tuvo la aproximación de las necesidades básicas ha evidenciado un mayor acercamiento hacia las opciones de la población local y una gran influencia también de las administraciones locales en la implementación de esos programas, tanto en la fase de realización de los levantamientos como en el de ejecución.

2.2. *Ecología del Paisaje* («Landscape Ecology»)

La *Ecología del Paisaje*¹, según Neveh y Liberman (1984), es una rama joven de la ecología moderna que trata sobre la interrelación entre el hombre

¹ *Ecología del Paisaje* es una traducción de Landscape Ecology. El primer significado de la palabra «landscape» fue «beautiful» (hermoso). En inglés se define esta connotación visual-estética del paisaje como «scenery» (escenario). El término «landscape» ha pasado por muchos cambios. Ha sido descrito por Troll (1939) como «the total spacial and visual entity of human livingspace, integrating the geosphere as a fully integrated holistic entity, meaning a "whole" that is more than the sum of its parts and that therefore should be studied in its totality». El estudio del «landscape» en ese enfoque holístico corresponde a «Landscape Ecology» (ecología del paisaje).

y su entorno. Esta ciencia se desarrolló en Europa Central como resultado de un enfoque holístico² adoptado por geógrafos, biólogos, ecólogos, arquitectos paisajistas y planificadores, en un intento por llenar el vacío existente entre sistemas naturales, agrícolas, humanos y urbanos.

El *paisaje* (Zonneveld, 1985) es considerado como un ecosistema en el cual los componentes actúan como factores sólo relativamente independientes. Estos factores, también llamados componentes, son: clima, roca, geomorfología, agua, suelo, vegetación, flora, fauna, el hombre. Los componentes del paisaje aparecen aquí en el orden de su nivel de independencia con respecto a la intervención del hombre. La implicancia de este concepto de paisaje es que para la investigación y el posterior mapeo de los mismos se consideran todos los componentes en forma integrada.

La investigación y el mapeo con el objetivo de, por ejemplo, manejar praderas naturales debería requerir, en general, esta visión integrada para un mejor entendimiento, completo y coherente de los factores que actúan sobre aquellas. Por ejemplo, uno tiene que saber algo sobre el suelo para establecer las relaciones con la productividad del pasto u otro tipo de vegetación; al mismo tiempo se necesita obtener datos sobre la estructura y densidad de la vegetación, su composición florística; saber algo sobre la disponibilidad de agua para los animales y también para la producción de la vegetación (clima). Los animales tienen su influencia sobre la composición y estructura de la vegetación; del terreno se tiene que saber si existen pendientes fuertes o no, etc. La recolección de datos para este mismo ejemplo de las praderas naturales se obtiene en forma integrada. Estos datos son presentados en un *Mapa Paisajista* (éste vendría a ser un mapa de unidades de la tierra o paisaje, lo que se conoce en los libros de texto como «land unit map», en el cual la leyenda incluye datos de la geología, de la geomorfología, de la estructura de la vegetación, de la composición y producción de la vegetación, entre otros, y con ellos formar así uno de los instrumentos a través del cual se puede estructurar y obtener en la práctica los datos necesarios y básicos para el manejo de las praderas naturales.

El término *Ecología del paisaje* («landscape ecology») fue introducido por Troll (1939 y 1950). El concepto de ecología del paisaje tiene ya sus expresiones en Bourne (1928). Desde ese momento el concepto conoce sus aplicaciones en muchos de los inventarios de recursos naturales del mundo,

² Holismo es una traducción de «holism», que significa «the theory that regards nature as a consisting of "wholes", in which a whole is more than the sum of its parts» (Philos).

comenzando por Australia (Christian et al., 1968) y Africa a través del DOS («Directorate of Overseas Surveys»), etc. El concepto y la metodología de la investigación y mapeo de la ecología del paisaje fueron desarrollados en trabajos prácticos. Pasaron décadas antes de que estas experiencias fueran codificadas en libros de texto, que pudieran servir como material de entrenamiento y de discusión para profundizar en el tema.

Consecuentemente una generación de investigadores convencionales monodisciplinarios (manejadores de una sola disciplina, como suelos, geomorfología, vegetación, etc.) fueron educados durante un período en el cual, nacional e internacionalmente, fueron requeridas las investigaciones y mapeos integrados.

Sólo recientemente existe más cantidad de bibliografía y libros de texto sobre esta temática: Neef, 1967; Leser, 1976; Zonneveld, 1972 y 1979; Vink, 1983; Naveh & Liberman, 1984.

2.3. *Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)*

Los Sistemas de Información geográfica ofrecen hoy soluciones factibles y económicas a una variedad de problemas que van desde aplicaciones relacionadas con el uso y administración de recursos naturales, pasando por la problemática que conlleva la planificación y administración urbana, hasta las aplicaciones de tipo militar. Los SIG son una consecuencia lógica en el avance de las tecnologías de minituarización de computadores y en un mejor entendimiento de los problemas de geometría computacional, como así la integración de los modelos de base de datos relacionales con características propiamente espaciales.

Un SIG es un sistema de información. Por norma general se asume que el SIG es de carácter digital, aunque esto no es una característica propia de la definición. En el ámbito digital, un SIG es un sistema capaz de capturar, almacenar, procesar/manipular y desplegar información referenciada geográficamente. Los SIG son un caso particular de los Sistemas de Información Espaciales. Un SIG se caracteriza de manera formal por dar soporte a preguntas, en un contexto de tipo geométrico, topológico/relacional, hechas a una base de datos espacial. En un SIG la información que se maneja se ubica en un plano de tipo cartesiano, y en el caso de superficies, sobre 2,5 dimensiones. El SIG es un modelo del mundo real. El usuario de un SIG posee las herramientas necesarias para que de una forma simple y eficiente pueda modelar un aspecto del mundo real.

Hoy en día ya se vislumbra la extensión de los SIG planimétricos a modelos en tres dimensiones con la integración a sistemas de diseño de ingeniería que tiene la capacidad de trabajar con sólidos.

A pesar del avance tecnológico de los SIG, el problema clave en la adopción de esta tecnología sigue siendo la captura de los datos que van a servir para crear la base de datos que el SIG va a manejar. Es normal estimar que del presupuesto total para implementar la tecnología en un proyecto SIG, entre el 60 % al 80 % se consume en la captura, limpieza y estructuración de la base de datos. En este sentido, recientemente a habido un auge en definir otras estrategias para la captura de datos que conlleven a minimizar los gastos en la primera fase de creación de el sistema.

Un sistema de información geográfica está construido sobre datos de tipo espacial. Podemos definir un dato espacial como un elemento ubicado en el espacio mediante un sistema predefinido de coordenadas que puede ser descrito mediante una variedad de atributos y su relación con respecto a otros elementos en el espacio puede ser establecida. Aquí caben destacar tres características fundamentales de los datos espaciales:

1. El dato puede ser ubicado, consecuentemente posee coordenadas. Estas coordenadas, además de definir la posición del dato, definen su geometría y, como consecuencia, su forma. Esta es una característica intrínseca del dato espacial definida por sus tres primitivos geométricos básicos: el punto, la línea y el área.
2. El dato puede ser descrito. Es decir, en forma explícita el dato espacial puede poseer una característica cuantitativa o cualitativa.
3. El dato puede ser relacionado a otros datos en el mismo plano. Esta es una característica inducida de la geometría del dato al crearle la topología.

Partiendo de la definición anterior podemos resumir que un dato espacial está caracterizado por su localización, su relación y su descripción. Los datos de ingeniería vial, de sensores remotos, como GPS, y de imágenes de satélite son ejemplos de datos espaciales.

La geometría, la topología y los atributos son los componentes básicos de los primitivos de un SIG dados por puntos, líneas y áreas. Un SIG integra diferentes estructuras de datos: vectores, retículas y células. Las estructuras vectoriales son una secuencia lineal ordenada de pares de coordenadas (x, y)

referenciadas a ejes comunes. Las estructuras reticulares son secuencias ordenadas de coordenadas equidistantes unas de otras y con un origen común. Las estructuras celulares son una secuencia matricial de celdas contiguas unas de otras, con una cobertura areal constante y con un origen común. Como ejemplos de una estructura vectorial podemos citar un río, una carretera, un polígono de suelo. Como estructura reticular podemos citar un modelo de elevación digital. Finalmente, como ejemplo de estructura celular podemos citar las imágenes de satélites.

En un SIG, los datos espaciales quedan integrados con todas sus características propias, es decir, la geometría, la topología y la descripción son parte intrínseca de la definición de la base de datos. En este sentido, un SIG, al modificar su geometría, modifica su topología automáticamente. La modificación topológica puede o no modificar la geometría. La modificación de los atributos puede conllevar una modificación geométrica y a su vez una modificación topológica. Todo esto es parte del proceso de administración y manejo de la base de datos espaciales por parte del SIG.

2.3.1. *Entrada de datos a un sistema de información geográfico*

Existe una variedad de métodos para ingresar datos a un SIG: categorizados —de acuerdo al medio en que se encuentra el dato a ingresarse— en analógicos y digitales, y éstos, a su vez, en semiautomáticos y automáticos, respectivamente. Los mapas de papel o «mylar» son medios analógicos y requieren de medios semiautomáticos para ser ingresados en un SIG. El proceso de convertir un dato analógico a un dato digital se define como digitalización. En el contexto de un SIG, la digitalización lleva implícito el proceso de la captura de coordenadas para definir la localización y forma del dato que se está capturando.

Existen mecanismos avanzados que permiten hoy en día la digitalización automática de mapas. Este proceso, que se define como de barrido (dado el término inglés de «scanner»), permite llevar un mapa, por ejemplo de papel, a una estructura vectorial o celular. Es decir, que el mapa puede ser luego estructurado topológicamente o ser manejado como una imagen, dependiendo del dispositivo usado para la digitalización. En todo caso, este proceso tan sólo define una parte de la fase de entrada, por cuanto es necesario luego introducir la parte descriptiva (los atributos) del mapa. Es necesario tener en cuenta que, a la fecha, estos instrumentos requieren que los mapas estén linealmente bien definidos (para el caso vectorial) y que no posean capas de colores, texto

u otro tipo de toponimia, por cuanto es incapaz de discernir claramente entre los diferentes patrones. Aun así, es muy probable que en la medida que la tecnología avance estas limitaciones sean superadas.

Dado que un sistema de información geográfico requiere de alimentarse de una variedad de datos diferentes, acorde con la aplicación en cuestión, es necesario el conocer los diferentes métodos y tecnologías que existen para el ingreso de información a un SIG. Además del proceso de digitalización existen otras dos técnicas fundamentales: sistemas de diseño de ingeniería y sistemas de sensores remotos.

2.4. *Sistemas de diseño de ingeniería*

En los inicios de los SIG, y más reciente aún, existió el debate de los sistemas de diseño asistidos por el computador (CAD) y los sistemas de manufactura asistidos por el computador (CAM), versus los SIG. Veamos dónde empieza uno y termina el otro.

Los SIG son utilizados por los planificadores y tomadores de decisiones para poder tener una visión global del modelo en estudio y el poder definir subsecciones del modelo para definir detalles de acción. El SIG trabaja en base a información ya existente y estructurada en la base de datos.

Los sistemas de diseño de ingeniería trabajan a escalas muy pequeñas y a una mayor precisión. Estos sistemas son utilizados en proyectos donde es requerida información muy detallada y exacta.

Bajo la perspectiva anterior, los sistemas de diseño de ingeniería (SDI) son herramientas que modean el futuro de la información que va a ser ingresada a un SIG; consecuentemente, son dos herramientas con objetivos muy distintos en cuanto a su uso.

Por ejemplo, a pesar de que un SIG puede mantener en su base de datos las calles de una ciudad, no es sino bajo la supervisión de un SDI que estas calles son diseñadas e incorporadas al plano.

Tanto los SIG como los SDI producen mapas y he aquí donde empieza y termina la similitud de estos dos sistemas. La producción de mapas va desde escalas donde se visualiza el mundo hasta cartas que muestran los detalles de construcción de una casa. La semejanza radica en el tipo de información que puede ser desplegada por ambos; la diferencia está en la escala.

Hoy en día la tendencia es de incorporar a un SDI funciones propias de un SIG y viceversa. La utilización eficiente de estas tecnologías radica en la integración adecuada de un SDI diseñado para ese propósito y un SIG que cumple con su función primordial. Mas, ¿cuál es la función primordial de un SIG? Basados en la definición de un SIG dada en la sección 2, la función primordial de un SIG es la ser un manejador de base de datos espaciales, con funciones que permitan la consulta de la base de datos, como asimismo la creación y edición de modelos basados en la información almacenada. Un SDI, entonces, es un componente alimentador de información a gran detalle al sistema de información geográfica.

Ahora bien, tanto un SIG como un sistema de diseño de ingeniería pueden requerir de otras fuentes de información fundamentadas sobre las tecnologías de sensores remotos.

2.5. Teledetección: Fotografías aéreas e imágenes de satélite

La interpretación de fotografías aéreas y de imágenes de satélite es una práctica que puede ser muy útil³ como ayuda en los estudios del paisaje y del uso de la tierra. Históricamente el mapeo de la tierra («landscape ecological mapping») fue posible a través de las fotografías aéreas. Mapeos extensivos en Australia y a través del «Directorate of Overseas Studies», a partir de los años 30 y de allí en adelante, fueron ejecutados con ayuda de fotografías aéreas. La relación directa entre el mapeo de unidades de paisaje y la fotografía es muy entendible. Tridimensional, la fotografía aérea muestra todos los componentes claves: formas del paisaje (geomorfología), incluyendo relieve, patrones de drenaje, estructura de la vegetación y el diseño de los campos.

Sin embargo, algunos componentes no se pueden ver directamente en la fotografía como, por ejemplo, los datos del clima, la composición de la vegetación, el suelo; pro éstos pueden ser asociados, después de obtener muestras en el terreno, con los componentes claves.

³ La utilidad se debe mayormente a la ganancia de tiempo cuando se usa fotografía aérea o imágenes de satélite. A pesar del tiempo que se necesita para la interpretación del material, se gana mucho en perspectiva; no obstante, más importante todavía es el hecho que en base a las unidades del mapa, establecidas a través de la interpretación, se puede estratificar (planificar) las muestras que se necesita recoger en el trabajo de campo. El efecto de haber estudiado las fotos o imágenes con anterioridad hace que no se olviden de muestrear unidades y se pueda reducir considerablemente la duración del trabajo de campo.

(Existen muchos mitos e información falsa sobre lo que se puede ver directamente en la fotografía. Las personas con mucha experiencia en interpretación y en terreno pueden deducir, a veces, información de fotos de un área que no conocen. Pro no siempre es recomendable confiarse; cada área conoce su realidad).

La fotografía aérea muestra los componentes en su conjunto; separarlos para confeccionar mapas de temas únicos (monodisciplinarios) no es recomendable cuando se hacen levantamientos de recursos naturales. La práctica enseña que la «reagrupación» de todas las variables físicas y componentes es muy difícil.

La fotografía aérea es muy útil para destacar diferencias en la estructura de la vegetación a primera vista; además, las pendientes y otras formas del terreno se ven claramente.

La disponibilidad de agua, si ésta es superficial, se puede reconocer; los problemas derivados de sobrepastoreo como, por ejemplo, erosión en sus diversas formas pueden ser analizados. Se pueden efectuar también cálculos de áreas. Todo esto requiere de un poco de experiencia y se tiene que conocer, además de las ventajas de la fotografía aérea, sus limitaciones.

Desde 1972 las imágenes de satélite (de los sensores MSS, ERTS, después llamado LANDSAT) pueden ser usadas por civiles. LANDSAT MSS produce imágenes en las escalas desde 1:1.000.000 hasta 1:250.000, dependiendo de la calidad de la imagen y el procesamiento de la misma.

No tiene los detalles de una fotografía aérea, pero sirve para entregar un panorama sinóptico del paisaje.

Aparte de la diferencia de escala, una imagen LANDSAT MSS es básicamente diferente de una fotografía aérea por estar constituida por cuatro bandas espectrales. En contraposición con la fotografía, que sólo ofrece una banda pancromática (B & N) y el hecho de no tener la posibilidad de representar un modelo tridimensional (efecto de estereoscopia).

Hace poco (febrero de 1986) los franceses lanzaron un nuevo satélite SPOT, que tiene posibilidades de brindar una resolución mayor, con la consecuencia que se pueden producir imágenes hasta escalas de 1:10.000 en blanco y negro (1:20.000 en color), con la esperanza que de con ellas se puedan producir también imágenes estereoscópicas. Hoy en día también se pueden procesar en microcomputadores (IBM compatibles) de 16 y 32 bits imágenes de satélite grabadas y formateadas en floppy-disks de uso familiar, ya casi para cualquier

usuario de micros y a precios razonablemente bajos (Bell, 1987, y C. Patillo, comunic. pers.).

Para la detección y el monitoreo de erosión, presiones de pastoreo, etc., este nuevo adelanto y la posibilidad de fácil acceso a las imágenes es un desarrollo importante.

Otros tipos de sensores montados en satélites surcando la tierra, como NOAA tienen funciones mayormente dirigidos a diferentes usos, como los meteorológicos y la determinación de índices de vegetación.

2.5.1. Tipos de sensores

La tecnología moderna fue frecuentemente adaptada a los levantamientos de recursos naturales. Convencionalmente se utilizaban vuelos de reconocimiento para la observación visual desde aviones chicos, con el objetivo principal de obtener datos sobre número, tipo, distribución y movilidad de los animales (Norton-Griffits, 1978; Milligan, 1982). Nuevas técnicas en este campo seguramente serán desarrolladas en un futuro próximo. Aviones superlivianos, con equipos de vídeo, son de las técnicas más prometedoras. En estudios del comportamiento de los animales se usa también mucho la radio-telemetría.

Se hará una descripción solamente de estas tecnologías, las cuales pueden brindar información en dos o tres dimensiones:

- | | |
|-------------------------------------------------------------|------------|
| 1. fotografía blanco y negro, pancromática; | fotografía |
| 2. fotografía blanco y negro, infrarroja («near infrared»); | |
| 3. fotografía color convencional; | |
| 4. fotografía color infrarroja («falso color»); | |
| 5. fotografía multiespectral; | |
| 6. imágenes de infrarrojo térmicas («far infrared»); | |
| 7. imágenes de microonda (radar); | imágenes |
| 8. imágenes multiespectrales (MSS, SPOT). | |

Existe mucha confusión con respecto a la diferencia entre fotografía e imagen. Esto se debe principalmente al hecho que la imagen se parece a la foto. Una imagen, en realidad, es nada más que una compilación de información en la forma de una imagen, tomada por un sistema de cassettes electromagnéticos los cuales graban las transmisiones de la reflexión de la tierra en bandas. Como la información que uno obtiene de la radio que se transmite

por ondas de una cierta frecuencia, los satélites funcionan en forma más compleja pero similar. Los instrumentos de un satélite LANDSAT por ejemplo, que están programados para obtener la transmisión de la reflexión de la tierra, entre otros, en las bandas (de aprox.) 0,4-0,5 μm , 0,5-0,6 μm , 0,6-0,7 μm , 0,7-0,9 μm , las cuales corresponden a la reflexión del azul, verde, rojo e infrarrojo. Esta información electromagnética se puede «traducir», a través de un procesamiento, en una imagen que al final se parece a una foto.

Sin embargo, toda esta información, diferente a la obtenida en una foto, conoce un mínimo elemento de resolución llamado «pixel» (picture element = elemento de la imagen) que define en metros la mínima entidad de información (y consecuentemente de trabajo).

LANDSAT: el «pixel» tiene distancias mínimas de 57 por 79 metros, aprox. 0,5 ha.; SPOT: el «pixel» en blanco y negro tiene las mínimas distancias de 10 por 10 metros.

No importa a qué escala se produce la imagen: el «pixel» sigue siendo el mínimo elemento de información.

Los satélites de LANDSAT y también de SPOT, no tienen solamente la transmisión de la reflexión de la tierra en las bandas mencionadas, además se obtiene la información de micro ondas aprox. desde 0,1 hasta 12,0 cm., que después del procedimiento se llama «radar», aprox. 0,9-1,1 μm , llamado infrarrojo térmico, entre otros.

Por otra parte, la fotografía se puede procesar a través de métodos convencionales y conocidos. No toda la información espectral que se puede obtener con satélites se puede fotografiar. La fotografía está limitada entre, más o menos, 0,3 μm y 0,9 μm , que corresponde a los «colores» desde ultravioleta hasta infrarrojo «cercano» o próximo. La definición de una película de fotografía es tal que generalmente se toma una foto en blanco y negro o en color de la parte del espectro que puede registrar el «ojo humano», que es la parte del espectro que va desde el azul al rojo, pasando por el verde (aprox. 0,4-0,7 μm). La transmisión del ultravioleta y el infrarrojo no es visible por el ser humano en condiciones normales. El ultravioleta normalmente se filtra cuando se hace la foto, porque esta reflexión produce un tipo de velado («haze») sobre la foto que reduce su contraste. Sin embargo, para determinados usos se quiere visualizar el infrarrojo. Y ya que el ser humano no puede ver el infrarrojo se hace necesario aplicar un pequeño «truco».

Se lleva adelante el siguiente procedimiento:

Una película de color normalmente está formada por tres capas, las cuales están separadas. Cada capa es sensible a un color, en este caso al azul, al verde y al rojo (aprox. 0,4-0,7 μm) respectivamente que son los colores primarios. A través de un procedimiento, demasiado detallado para exponerlo aquí, se obtiene al final una foto que es una composición de los mismos colores. En el caso que uno quiera visualizar el infrarrojo se debe tomar una película diferente. Esta película también tiene tres capas y su estructura es exactamente igual a la de una película de color común y corriente. Sin embargo, las capas son sensibles no a los colores primarios: azul, verde y rojo, sino a los colores verde, rojo e infrarrojo (más o menos desde 0,5 μm hasta 0,9 μm), lo que significa un pequeño desplazamiento en el espectro. El «ojo humano» todavía no es capaz de ver estos colores, por esta razón ese desplazamiento se traduce, una vez realizado el revelado de la película, en colores que sí son visibles para el ser humano. El resultado es que uno tiene la sensación que todos los colores son «falsos», lo que obviamente no es cierto.

PELICULA de COLOR
(normal)

PELICULA DE COLOR INFRARROJO
(«falso color»)

| objeto de la fotografía | después del revelado de la película. | objeto de la fotografía | después del revelado de la película. |
|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| azul | azul. | verde | azul. |
| verde | verde. | rojo | verde. |
| rojo | rojo. | infrarrojo | rojo. |

Las películas en blanco y negro son en el caso «normal» sensibles para la parte del espectro que va aprox. 0,4 a 0,7 μm , igual que una película de color pero definido en una capa. En el caso de la película de «infrarrojo», al igual que con la película de infrarrojo color se traslada la sensibilidad hacia el intervalo entre aprox. 0,5 y 0,9 μm .

Mucha gente cree que disponer de una fotografía infrarroja es mucho mejor que cualquier otra fotografía, sin embargo, esto depende fundamentalmente del objetivo para el cual va a ser utilizada. Es cierto que la reflexión de la vege-

tación en el infrarrojo generalmente es mayor que la reflexión en la franja del verde o rojo, lo que resulta que en caso de duda se pueden ver mejor las diferencias entre vegetación y, por ejemplo, el suelo raso o pelado, pero generalmente la diferencias también se destacan en la fotografía blanco y negro «normal», que se produce a un costo más bajo que todas las otras. Para algunos usos bien definidos el infrarrojo tiene claramente ventajas; una de ellas es que se aprecia, más claramente, la diferencia entre los diversos tipos de coníferas. Que se pueden identificar los árboles enfermos más fácilmente en la fotografía infrarrojo que en otros tipos de fotografía, es un mito que se empezó a difundir a partir de la necesidad de vender la fotografía y todavía tiene que ser probado.

Volviendo al tema de las imágenes falso color, a causa que esta técnica se desarrolló mayormente en la misma época que la fotografía infrarrojo con sus esperados éxitos, por costumbre se *codifican* los «colores» de la imagen muchas veces en «falsos colores», pero en principio se podría codificar estas imágenes con todos los colores del espectro, si es que el instrumental que produce la imagen tiene esas posibilidades.

2.6. Integración de Tecnologías

Los sensores remotos y los SIG son dos tecnologías estrechamente relacionadas y de gran importancia para la adquisición, administración y análisis de datos espaciales. Los sensores remotos típicamente involucran el procesamiento e interpretación de imágenes de la superficie de la tierra para identificar fenómenos de interés. Estas imágenes usualmente provienen de satélites comerciales o existen en la forma convencional de fotografías aéreas. Los resultados de un estudio basado en sensores remotos son colocados como fuente de entrada para la base de datos de un sistema de información geográfico.

Por ejemplo, una imagen de satélite puede ser interpretada para definir cómo la explotación forestal de una zona está avanzando, mientras que en el SIG se encuentra almacenada información que puede ser correlacionada, tal como curvas de nivel, polígonos de masa de bosques para cierta fecha, ríos, etc. De este ejemplo podemos ver cómo un SIG va más allá de almacenar y administrar datos espaciales para convertirse en una herramienta que permite la integración de una diversidad de fuentes de información.

La comercialización del espacio y la de los satélites ha traído como consecuencia la disponibilidad pública de información que antes sólo estaba dispo-

nible a las fuerzas militares. De igual manera esto ha traído como consecuencia una mejora en el tipo, calidad y cantidad de información proveniente de los sensores remotos.

Hoy en día, además de las imágenes multiespectrales que pueden ser recibidas, también es posible el recibir modelos de elevación digitales con resoluciones de 10 y 5 metros. Esto implica que no sólo información de tipo categórico puede ser obtenida a través de los satélites, sino también información de tipo altimétrico. La disponibilidad de estos modelos del terreno a través de sensores remotos abren toda una gama de posibilidades, con respecto a costos, para aquellos países donde la información básica es deficiente o no existente.

La comercialización de los satélites y el avance de estas tecnologías han traído otro beneficio: el de los sistemas de posicionamiento global, conocidos como GPS. Estos sistemas utilizan una red de satélites que permiten ubicar cualquier objeto sobre la superficie de la tierra con una alta precisión. Así como las imágenes de satélite permiten capturar características como tipo de vegetación, uso de la tierra, etc., GPS permite prácticamente digitalizar sobre la faz de la tierra, al poder hacer la captura en tiempo real de coordenadas sobre la superficie del planeta. Esto ha traído como consecuencia, por ejemplo, el poder ubicar con mayor precisión las fronteras entre países y la posición de elementos naturales, como ríos.

El impacto que GPS ha tenido en el ingreso de información a los SIG ha sido revolucionario, ya que GPS ha permitido en muchos casos evadir la necesidad de producir fotointerpretaciones o mapas de papel. De igual manera, GPS ha venido siendo utilizado en aplicaciones urbanas, forestales y mineras para la compilación de información básica de posición e identificación de elementos seleccionados.

3. CONCLUSIÓN

Los SIG representan hoy quizás el instrumento tecnológico de mayor impacto hacia los años futuros en lo que se refiere al uso y administración de los recursos naturales renovables y no renovables, como asimismo la planificación y toma de decisiones sobre aspectos socio-económicos de una ciudad, región o país.

El fundamento existencial de estos sistemas y el éxito con el cual puedan ser utilizados radica en entender el proceso de transferencia e integración tecno-

lógica. Al comprender el objetivo y propósito de las diversas tecnologías existentes para la captura y compilación de datos espaciales (geográficos), podemos manejar mejor los costos de implementación y, de igual manera, escoger de forma inteligente el proceso de integración que mejor se adapte a las necesidades de las metas que se persiguen al implementar un SIG.

De esta manera es importante reconocer la diferencia y papel que puede tener un sistema de diseño de ingeniería, un sistema de imágenes de satélite, un sistema de posicionamiento global, métodos semi-automáticos versus automáticos de digitalización de datos convencionales, y cómo todos se integran y complementan para formar la parte más importante de un SIG, sin la cual el sistema no tiene sentido: los datos.

J. ARMANDO GUEVARA, Dr. en Ciencias
Informáticas, Environmental Scientific Research
Institute, California (USA)
Jorge FABRICANT, Ing. Geodesta, Dpto. de
Geografía y Ordenamiento del Territorio, UNEX