

TENDENCIAS ACTUALES DE LA GEOMÁTICA EN EL ÁMBITO SILVOAGROPECUARIO EN CANADÁ, EE.UU. Y EUROPA.

Dr. Alfonso R. Condal
Departamento de Geomática
Pav. Casault, Universidad Laval, Quebec, Canadá, G1k 7P4
Teléfono: 418 656-5565, Fax: 418 656-7411
E-mail: alfonso.condal@scg.ulaval.ca

Resumen

La industria geomática es una de las tecnologías de la presente década que ha experimentado en los últimos años uno de los desarrollos más inmensos y rápidos; ella es reconocida a una escala mundial como proveedora de "hardware, software" y productos que ofrecen nuevas oportunidades en la adquisición, procesamiento, y visualización de datos espaciales.

El uso de esta tecnología en ciencias Silvoagropecuarias como en otras ciencias del medio ambiente ha aumentado también de manera significativa y sistemática en los últimos años, como lo demuestra la lectura de las ponencias presentadas a conferencias y congresos en ciencias del medio ambiente. De una manera semejante a otras agencias tanto privadas como estatales, los servicios forestales y agropecuarios a través del mundo necesitan una información exacta acerca de la ubicación, cantidad, distribución espacial y calidad de los recursos naturales disponibles.

Esta ponencia presenta un resumen de la evolución de la geomática, con un marcado énfasis en las aplicaciones a recursos naturales, tanto en América del Norte como en Europa. En general, administradores de agencias privadas o estatales toman decisiones sobre una vasta clase de problemas que cubren desde el medio ambiente hasta servicios de ayuda en caso de emergencias o incidentes no previstos; esta ponencia muestra también cuales herramientas geomáticas son utilizables en situaciones de este tipo. El texto es presentado en dos secciones; primeramente, presentamos desde un punto de vista histórico el nacimiento de esta tecnología, su distribución geográfica, las condiciones variables del mercado y la respuesta de la industria geomática al aumento, expansión del uso de las herramientas geomáticas a una escala mundial. Segundo, la geomática aplicada a las ciencias Silvoagropecuarias también es presentada, en particular, se discute que este proceso se efectúa en tres etapas bien diferentes. La primera consiste a la adquisición de "hardware", "software" y familiarización del personal disponible a estas nuevas herramientas de trabajo. La segunda corresponde a la adquisición de un nuevo tipo de datos; datos que tradicionalmente no se usaban o no estaban disponibles – por ejemplo, imágenes de satélites. La tercera etapa corresponde a un experimento donde se ensaya una hipótesis científica usando conjuntamente las imágenes de satélites y las diferentes capas de datos y relaciones almacenadas en el GIS utilizado en el proyecto.

Finalmente, la instrucción tanto práctica como teórica en el campo de la geomática de los científicos y técnicos en Silvicultura es una condición fundamental para que estas nuevas herramientas de trabajo puedan ser utilizadas a su potencial máximo.

Abstract

The geomatics industry is one of the fastest-growing technology sectors of the 1990s and is recognized in providing the software, hardware, and value-added services that offer new opportunities to capture, process, and display spatial data. Use of this technology in the last decade by foresters and other natural resource professionals has increased steadily, as evidenced by the increasing number of papers presented at professional conferences held on a national and worldwide scale. Like other land management agencies, Forest Services around the world need timely and accurate information about the location, quantity, spatial distribution, and quality of natural resources.

In general, managers are presently expected to make informed decisions about potential applications that range from monitoring natural resources to providing regional emergency services. This article offers an overview of developments in Geomatics as used in natural resource management disciplines – forestry and agriculture.

First of all, the birth of this new technology - the geomatics industry - is presented from a historical point of view; then, its geographical distribution, changing conditions and industry response to the increasing and often conflicting demands for resource use, are discussed. In the second part, geomatics as used by foresters and other natural resource professionals is presented. It is shown that the implementation of geomatics into natural resource management has evolved through three steps; the first one is the acquisition of hardware, software, and train personnel; the second one corresponds to the acquisition of data, and the third one is to test management assumptions through sensitivity analysis of the information available in the imagery and in the relationships among GIS layers. Finally, increased training is critical before personnel can apply geomatics tools to resource management problems.

Introducción

Geomática es un término genérico utilizado desde hace unos diez años para indicar la integración de varias ciencias geofísicas; específicamente, de las disciplinas de geodesia, catastro, ingeniería, agrimensura e hidrografía. También este término incluye las siguientes tecnologías: sistema de posición global (GPS), sistemas de información geográfica (GIS), percepción remota, fotogrametría y cartografía. La industria geomática cubre una vasta selección de actividades comerciales; por ejemplo, firmas consideradas como geomáticas incluyen

proveedores de "hardware", "software", satélites, productos cartográficos, control del medio ambiente, consultores y escuelas de instrucción práctica. Además es una industria que ha experimentado en los últimos años un crecimiento enorme, donde las actividades tradicionales como agrimensura o fotogrametría no digital están siendo reemplazadas en forma sistemática por nuevas tecnologías como tratamiento digital de imágenes y GIS.

El mercado mundial geomático fue en productos y servicios- estimado en 1994 en US\$ 10 billones; siendo su crecimiento anual aproximadamente de 20 por ciento. Los mayores mercados son actualmente América del Norte y Europa Occidental, con un aumento paulatino en América del Sur, Europa del Este y Asia. Por ejemplo, solo la República de Corea, compró en 1994 productos derivados de las empresas geomáticas por un valor de US\$ 60 millones. Se espera que esta cifra llegue a US\$ 180 millones al año 2000.

En la actualidad, Estados Unidos es el líder mundial tanto en el desarrollo tecnológico como comercial. Canadá se encuentra en el segundo lugar, seguido de varios países de Europa Occidental. El mercado de "software" tanto en percepción remota como GIS es dominado por las firmas norteamericanas, correspondiendo a las firmas canadienses un liderazgo en cartografía marina, administración tanto en recursos naturales como en forestería, aplicaciones municipales y "hardware" (estaciones terrestres de recepción de señales de satélites y sistemas digitales para satélites). Por otra parte, Europa se ha caracterizado siempre por una fuerte tradición en fotogrametría.

La industria geomática se caracteriza por tener fuertes conexiones con organismos estatales; estos juegan en general un doble rol, son consumidores de productos geomáticos y al mismo tiempo ayudan financiando el desarrollo de nuevas tecnologías y la colección y organización de los datos espaciales. Dos ejemplos típicos que ilustran esta situación son: En Estados Unidos el gobierno federal es el cliente más importante de esta industria, estimándose su gasto anual en productos en US\$ 2.5 billones, principalmente por intermedio del Servicio Forestal Federal y el Departamento de la Defensa; el gobierno canadiense (tanto al nivel federal como provincial) ha jugado un rol mayor y fundamental en el desarrollo del sistema RADARSAT y ayuda al sector privado en sus actividades de comercio internacional.

Las tendencias actuales en esta industria sugieren que la evolución se orientará hacia una mayor integración de la cartografía numérica, "soft-copy" fotogrametría, GIS, GPS y análisis numérico de imágenes. Internet asumirá un rol preponderante en la industria, GPS será el método estándar de posicionamiento y la resolución espacial de las imágenes de satélites aumentará suficientemente como para reemplazar las fotografías aéreas en más y más aplicaciones. Por otra parte, los campos tradicionales de la geomática tales como agrimensura, topografía y cartografía, disminuirán en su importancia comercial.

Dado este rápido cambio tecnológico, las firmas que desean operar en geomática

están obligadas a renovar periódicamente su capital, equipos y "software" de manera de ser capaces de mantenerse competitivos en el mercado mundial, necesitando también asignar un buen porcentaje de sus presupuestos a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías.

En general, la investigación y desarrollo se concentra en nuevas aplicaciones que permitirán a las firmas tomar ventajas del mejoramiento tecnológico y la reducción de costos que se presentan en el campo de las telecomunicaciones y la computación. Esta situación tiene como consecuencia que los conocimientos necesarios para trabajar que poseen las firmas esta cambiando casi tan rápido como el campo mismo.

Los programas de enseñanza tanto universitarios como técnicos están obligados a seguir y tratar de mantener el ritmo de cambios que se producen tanto en la tecnología como en el mercado. GIS y percepción remota son principalmente responsables por esta situación. La enseñanza de GIS tanto al nivel universitario como técnico ha aumentado significativamente en los últimos años, lo que se observa en un aumento y mejoramiento de los programas en universidades y escuelas técnica, con el fin de satisfacer una nueva demanda de profesionales con nuevas herramientas de trabajo.

Por lo tanto, las oportunidades de expansión a una escala mundial son excelentes, a excepción de los campos de agrimensura, topografía y cartografía. El sector de recursos naturales (por ejemplo, forestería, minas, agricultura), transporte, construcción y desarrollo de infraestructuras públicas son los campos donde se espera que las aplicaciones geomáticas tengan el mayor impacto. GPS y GIS son los segmentos de la geomática que participaran principalmente en este desarrollo.

El área de recursos naturales, especialmente la forestería y la agricultura, utiliza una gran variedad de datos, los que van desde inventarios de diferentes regiones forestales y terrenos a la identificación de productos requeridos por las diferentes comunidades y sus mercados respectivos. La organización, el análisis y la presentación de esta vasta cantidad de información a los administradores, planificadores y políticos es uno de los trabajos, tal vez, más difíciles de los expertos en recursos naturales. Por ejemplo, el Servicio Forestal en los Estados Unidos es responsable de 200 millones de acres (80,92 millones de ha) de terreno. Esta superficie comprende una cantidad inmensa de terrenos de diferente naturaleza; el administrador de este tipo de terrenos necesita tener disponible, casi en una base diaria, de información actual y precisa acerca de la ubicación, cantidad, distribución espacial y calidad de estos recursos naturales. Con el aumento continuo y a veces contradictorio de la demanda por recursos naturales, los administradores necesitan información actual, del momento para tomar decisiones. La geomática ofrece esta capacidad; un GIS acepta diferentes tipos de información y después de un análisis, es capaz de presentar la información espacial necesaria para el proceso de toma de decisiones.

Un Servicio Forestal, por ejemplo, utiliza estas herramientas geomáticas en casi

todas las etapas de sus programas; desde la organización de las actividades diarias hasta la planificación de programas futuros. La información a la base de estas actividades proviene de diferentes fuentes: tipos de vegetación, hidrología, catastro, fotografías aéreas, imágenes de satélites, etc. El rol principal del experto en geomática es de integrar toda esta información en un conjunto coherente; proporcionando al administrador un tipo de información que es fácilmente accesible, comprendida y distribuida tanto a los miembros de su entidad como a otros grupos.

Ciencias Geomáticas

Geomática es un término genérico utilizado desde hace unos diez años para indicar la integración de varias ciencias geofísicas; específicamente, de las disciplinas de geodesia, catastro, ingeniería y agrimensura marina. También este término incluye las siguientes tecnologías: sistema de posición global (GPS), sistemas de información geográfica (GIS), percepción remota, fotogrametría y cartografía. Desde un punto de vista histórico, en la base de la geomática se encuentran las disciplinas de agrimensura, topografía y cartografía. Sus raíces remontan por lo tanto a los tiempos prehistóricos (ver Tabla 1a). El punto culminante fué, sin ninguna duda, la iniciación de la era espacial en 1957; después de este exitoso suceso, los acontecimientos se desarrollaron rápidamente para llegar a principios de la última década de este siglo cuando el concepto de ciencias geomáticas hace su aparición como respuesta a la necesidad de dar un nombre a la integración de varias ciencias en los campos de geofísica, cómputo, grafismo y catastro (ver Tabla 1b).

Tabla 1ª: Cronología del concepto de ciencias geomáticas

4000	av J.-C	primer mapa topográfico	Ciudad de Dunghi en Mesopotamia
1747	av J.-C	primer calendario	Egipto
610	av J.-C	primer mapa geográfico	Grecia
1100		invención de la brújula	China
1280		primer reloj mecánico	
1571		primer teodolito	Inglaterra
1731		primer sextante	Inglaterra
1736		primer cronómetro	Inglaterra
1816		invención de la fotografía	Francia
1838		Invención del estereoscopio	Inglaterra
1850		invención del mareógrafo	Francia
1858		primera foto aérea (desde un globo)	Francia
1904		primera foto en color	Francia
1911		invención del giroscopio	EEUU
1935		invención del Radar	EEUU
1936		invención de la radioastronomía	EEUU
1946		primer computador	EEUU

1949 invención del geodimetro Suecia
 1957 primer satélite artificial URSS

Tabla 1b: Cronología del concepto de ciencias geomáticas

1957 primer satélite artificial URSS
 1965 primer SIG Canadá
 1968 la palabra GEOMÁTICA es introducida por Bernard Dubuisson Francia
 1972 Serie LANDSAT de satélites EEUU
 1978 primer satélite radar: SEASAT EEUU
 1978 primer computador personal EEUU
 1980 Serie GPS de satélites EEUU
 1986 Serie SPOT de satélites Francia

La Industria Geomática

La geomática cubre una vasta selección de actividades industriales; por ejemplo, firmas consideradas como geomáticas incluyen proveedores de "hardware", "software", satélites, equipos de recepción de datos, productos cartográficos, control y protección del medio ambiente, consultores y escuelas de instrucción práctica (ver Tabla 2)

Tabla 2: La industria geomática

Consultores

necesidades de clientes: análisis, diseños y selección de sistemas

Bases de datos GIS

creación, administración y mantenimiento de bases de datos

Aplicaciones de los GIS

productos útiles a diferentes clientes; por ejemplo, forestería, medio ambiente, recursos acuáticos y municipalidades

Agrimensura aplicaciones en ingeniería, minería y agricultura

Hidrografía agrimensura marina

Fotogrametría y cartografía productos en dos y tres dimensiones

Percepción remota

fotos aéreas, imágenes aéreas y de satélites, interpretación y análisis de fotos e imágenes

Manufactura y desarrollo de sistemas informáticos "hardware" y "software"

Educación e instrucción

Situación Actual de la Industria Geomática

Contexto global

El mercado mundial de productos y servicios geomáticos fué estimado en 1994 a US\$ 10 billones y creciendo con una tasa de 20 por ciento por año.

El mercado actual se encuentra en la América del Norte y Europa occidental.

Nuevos mercados emergen en América del Sur, Asia y Europa del Este. Por ejemplo, la República de Corea compró en 1994 productos geomáticos un total de US\$ 60 millones y espera comprar por un total de US\$ 180 millones en el año 2000.

Los Estados Unidos de Norteamérica (EEUU) es el líder mundial tanto en lo referente al desarrollo de nuevas tecnologías geomáticas como a la compra de ellas.

Canadá es considerado en el segundo lugar, seguido de la Francia, Alemania, Inglaterra, Holanda y la República de Corea.

Europa se encuentra en primer lugar en lo referente a la producción de equipos fotogramétricos.

La tendencia actual hacia el uso de la fotogrametría digital - "soft-copy photogrammetry" - ha permitido a varias firmas norteamericanas de tomar una parte este mercado.

Contexto norteamericano

EEUU

- El gobierno federal es un mercado en sí mismo
- Compra anualmente productos geomáticos por unos \$ 2.5 millones, lo que representa alrededor de ¼ del mercado mundial.
- Los clientes principales son el Servicio Forestal y el Departamento de Defensa.
- Una proporción de estos contratos implica trabajos con 'información de uso restrictivo clasificada' y por lo tanto no accesible a firmas canadienses o mexicanas. No obstante la existencia del Tratado de Libre Comercio en la América del Norte, la proporción de contratos del gobierno federal norteamericano a firmas tanto canadienses como mexicanas es mínimo.
- Las provincias y municipalidades norteamericanas son también grandes compradores de este tipo de productos

Canadá

- Las firmas canadienses han desarrollado una sólida experiencia en el desarrollo de "software" y aplicaciones en campos específicos, tales como:
 - administración forestal
 - administración de recursos naturales
 - hidrografía y navegación marina
 - administración municipal
 - "hardware" → antenas, equipos de adquisición de datos
 - integración de sistemas GPS con datos y técnicas de la percepción remota
- Sus ventas anuales a una escala mundial son del orden de \$ 1.6 billones donde, 90 % de esta cifra corresponde a ventas de servicios y productos, el 10 % restante corresponde a ventas de "hardware" y "software".

México

- Existe una pequeña industria geomática con experiencia en los campos tradicionales de cartografía y agrimensura.
- Los clientes principales de servicios geomáticos son el gobierno federal, las provincias y las municipalidades.
- El Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Información (INEGI) y el Secretariado del Desarrollo Social (SEDESOL) son las principales agencias responsables por la cartografía y agrimensura en México.
- INEGI utiliza principalmente un apoyo técnico norteamericano.
- SEDESOL es un cliente de varias firmas canadienses.

Características y Tendencias Actuales de la Industria Geomática

Tiene fuertes conexiones con los organismos estatales, presentando los gobiernos su ayuda en el desarrollo técnico, como por ejemplo los sistemas LANDSAT y RADARSAT.

En el comercio internacional los sectores de mayor crecimiento son:

- la percepción remota radar, que ha crecido últimamente a una tasa de 15 % anual
- la tecnología GPS
- fotogrametría digital - "soft-copy photogrammetry"

- geomática marina con cartografía del fondo marino en tres dimensiones
- exploración minera
- instalación de líneas, cables sumergidos

En la actualidad las fronteras entre las diversas disciplinas son más y más difusas, existiendo una gran integración de la cartografía y fotogrametría numérica con GIS, GPS y análisis digital de imágenes. Por otro lado, la tecnología GPS es actualmente el método estándar de posicionamiento e Internet asume cada vez un rol más importante en ésta industria. El aumento constante de la resolución espacial de las imágenes de satélites implica que la percepción remota reemplazará las fotos aéreas en más y más aplicaciones cartográficas.

Debido a estos rápidos cambios tecnológicos, la industria geomática necesita renovar periódicamente su capital, equipos y "software" debiendo asignar un buen porcentaje de sus presupuestos al desarrollo de nuevas tecnologías y mejorar periódicamente la competencia profesional de sus empleados.

Comercio

La industria es todavía dominada por los campos tradicionales de agrimensura y cartografía (ver el ejemplo canadiense en Tabla 3)

En el ámbito mundial existe una gran demanda por desarrollo de "software" para aplicaciones en GIS y GPS la implementación de sistemas de control ambiental.

Tabla 3: La industria geomática canadiense en millones de dólares, 1994

Actividad	US\$ (Millones)	
Agrimensura	800	
Consultación GIS	250	
Hardware/Software (desarrollo)		180
Fotogrametría (mapas)	100	
Hardware/Software (venta)		80
Percepción Remota	50	
Cartografía	40	
Geodesia	30	
Fotos aéreas	25	
Ingeniería	10	
Enseñanza	5	

Educación

Las instituciones educacionales deben seguir el rápido ritmo de cambios tecnológicos.

La enseñanza tanto universitaria como técnica en GIS y GPS ha ganado en popularidad en los últimos años; tanto el número de estudiantes como de cursos

ha aumentado significativamente.

Percepción remota radar presenta también en sus cursos un aumento de alumnos

Sistemas de información geográfica

GIS es una herramienta poderosa para el análisis y la integración de información proveniente de fuentes diferentes como, por ejemplo, mapas, mediciones terrestres, información catastral y topografía. Gobiernos, servicios públicos y empresas privadas consagran cantidades apreciables de sus presupuestos a la compra y mantenimiento de sistemas que son capaces de almacenar, integrar, administrar y analizar todos estos tipos diferentes de información.

El área de recursos naturales, especialmente forestería y agricultura, se utiliza una gran variedad de datos los que van desde inventarios de diferentes regiones forestales y terrenos a la identificación de productos requeridos por las diferentes comunidades y sus mercados respectivos. Por otra parte, una de las tareas más difíciles que se debe abordar en este campo, es la organización, análisis y presentación de esta vasta cantidad de información a los administradores, planificadores y políticos.

El crecimiento continuo de la población mundial aumenta la demanda por recursos naturales tanto terrestres como acuáticos y atmosféricos. Por lo tanto, y especialmente en la segunda parte de este siglo, la demanda por datos topográficos y diferentes mapas temáticos relacionados con recursos naturales ha aumentado apreciablemente. Fotos aéreas e imágenes desde satélites permiten producir con una excelente precisión mapas de vastas regiones; pero la cantidad misma de datos a analizar, el tiempo requerido para su producción y la variedad de mapas temáticos solicitados obliga a la utilización de sistemas computacionales para este fin.

La cartografía numérica nace por lo tanto durante las décadas del 60 y 70. Los primeros sistemas de este tipo hicieron su aparición en Holanda, Inglaterra, Australia y Canadá. Estos primeros sistemas fueron principalmente una ayuda para la automatización del proceso de delinear contornos y la confección de mapas. Sin embargo, debido a que la experiencia en el uso de computadoras en la confección de mapas había avanzado lo suficiente Rhind (1977), da una serie de razones para el uso de esta nueva tecnología (ver Tabla 4)

Tabla 4: ¿Porque usar la cartografía numérica? (Rhind, 1977)

1. Producir mapas más rápidamente
2. Producir mapas a menor costo
3. Producir mapas específicos a las necesidades de ciertos clientes
4. Producir mapas de una manera automática
5. Permitir la experimentación con diferentes representaciones gráficas del mismo conjunto de datos

6. Facilitar la confección y la corrección de mapas cuando los datos se encuentran expresados en forma digital
7. Facilitar el tratamiento de datos que requiere la interacción entre cartografía y análisis estadístico
8. Minimizar el uso de mapas impresos -"printed maps"- como base de datos
9. Crear mapas que son difícilmente hechos con otros métodos, por ejemplo mapas estereoscópicos
10. Crear mapas con un método común y estándar
11. Introducción de un proceso de automatización producirá una revisión total del modo que mapas son producidos; el método cartográfico deberá por lo tanto mejorar y ser menos oneroso.

En la década del 80, hubo en Europa, Australia y la América del Norte desarrollos rápidos en el uso de esta nueva herramienta de trabajo. El uso y desarrollo de esta tecnología fué costoso, especialmente desde el punto de vista del "hardware". Hubo desarrollos paralelos en la adquisición, análisis y presentación de datos en campos tan diversos como, por ejemplo, catastro, ingeniería, geología, geografía, forestería, agricultura, hidrología, teoría estadística, percepción remota y fotogrametría. Aplicaciones militares cubrieron y frecuentemente dominaron los desarrollos obtenidos en estos campos civiles. Hubo, por lo tanto, mucha duplicación de trabajo y esfuerzo; esta multitud de trabajos inicialmente independientes uno de los otros tuvo como resultado a principios de la década del 90 la emergencia de los primeros GIS.

Por lo tanto, el resultado principal de más de veinte años de desarrollo tecnológico es que los GIS se han transformado en un fenómeno a la escala mundial con aplicaciones en prácticamente todos los campos del saber humano.

Uso de la Geomática en Ciencias Silvoagropecuarias

Ciencias Forestales

La forestería a sufrido a través de los últimos decenios profundas modificaciones en sus métodos de trabajo con una tendencia hacia la gestión integrada de los recursos naturales y donde se debe asegurar un beneficio pecuniario dentro de un marco de respeto del medio ambiente, de la fauna y del paisaje. La protección del medio ambiente, de los senderos pedestres y de los lugares utilizados por diferentes actividades deportivas son criterios a respetar y que agregan un nivel más de dificultad a la complejidad de la administración de estos territorios. Para lograr este objetivo, el Ingeniero Forestal debe ser capaz de acceder de la manera más eficaz a los datos disponibles por el territorio y tomar decisiones considerando todas estas fuentes de información. GIS, percepción remota , fotogrametría y GPS

representan las herramientas modernas, eficaces, casi prácticamente indispensables para obtener este fin.

Antes de la llegada de la cartografía numérica, la gestión del territorio se efectuaba con la ayuda de datos descriptivos. Para localizar, por ejemplo, ciertos tipos de poblaciones forestales había que colorear a mano estos grupos en el mapa de la región de interés. El lanzamiento del primer satélite LANDSAT en 1972 hizo posible por la primera vez la adquisición de datos numéricos sobre el territorio. La disponibilidad de este tipo de datos creó la necesidad de desarrollar métodos numéricos de tratamiento de datos específicamente aplicados a las necesidades de la Forestería. Este fue un proceso lento que tomó las décadas del 70 y 80, que tuvo que afrontar una serie de problemas como la ausencia de normas gubernamentales y la evolución de las ciencias geomáticas que produjo modificaciones a las bases de referencia espacial, como por ejemplo el cambio de NAD 27 al NAD 83. En la década de los años 90, este proceso de implantación de las ciencias geomáticas en el medio forestal se intensificó y actualmente los gobiernos -federal, provincial y municipal- tanto como el sector privado en América del Norte como en Europa, utilizan de una manera operacional los diferentes tipos de datos y herramientas de análisis que ofrecen las ciencias geomáticas. La formación, tanto en ingeniería como tecnología forestal ha también evolucionado y ofrece actualmente cursos en geomática forestal.

Percepción Remota y Fotogrametría

En forestería, el uso de la percepción remota y la fotogrametría consiste principalmente en la adquisición de imágenes tanto aéreas como desde satélites y su interpretación o análisis en vista de obtener información pertinente al medio forestal. Experimentos y observaciones en el terreno mismo son lentas y costosas. La adquisición de datos desde el espacio permite al Ingeniero Forestal administrar vastas regiones de territorio y conocer los recursos naturales relacionados con este territorio con un mínimo de intervención en el terreno.

La escala en la foto aérea o la resolución espacial de las imágenes es un factor muy importante, pues permite determinar el tipo, la calidad y la cantidad de información que es posible extraer de los datos espaciales. En general, este tipo de datos se divide en cuatro grupos (Tabla 5).

Tabla 5. Nomenclatura, resolución espacial y ejemplos de sensores remotos

Definición	Resolución espacial	Ejemplo
Muy baja	100 m - 1 Km. / pixel	Satélite NOAA
Baja	10 - 100 m / pixel	Satélites Landsat, SPOT
Medio	1 - 10 m / pixel	IKONOS, vuelo aéreo a alta altitud
Alta	cm / pixel	vuelo aéreo a baja altitud

Las imágenes de muy baja resolución se las utiliza para obtener la cobertura

vegetal de un continente y estudios de los grandes ecosistemas - "global monitoring". Las imágenes de baja resolución permiten estudiar las diferentes poblaciones forestales, pero no son capaces de dar un inventario detallado. A una resolución de 10-20 m / pixel es posible de considerar la textura de la cobertura forestal y los cambios mayores que en ella puedan ocurrir, como por ejemplo las regiones de tala rasa. Las imágenes de resolución mediana muestran naturalmente más detalle y permiten evaluar más fácilmente las proporciones entre los diferentes tipos de poblaciones que forman la cobertura vegetal. Por ejemplo, permiten estimar de una manera precisa el daño causado al territorio por plagas de insectos. Por un análisis numérico a esta resolución y con el fin de delinear las poblaciones forestales y sus componentes, la textura toma tanta importancia como la información espectral. Las imágenes de alta resolución permiten distinguir la copa, la cima de los árboles. Puesto que tienen una cobertura espacial muy restringida, son apropiadas para el uso en inventarios forestales de regiones pequeñas y para la interpretación en la pantalla de las computadoras. Estos datos son, excepción de la foto aérea, imágenes multibandas; estas bandas pueden también ser usadas sin necesidad de utilizar los métodos del tratamiento numérico de imágenes. En este caso, se las utiliza bajo la forma de fotos o diapositivas.

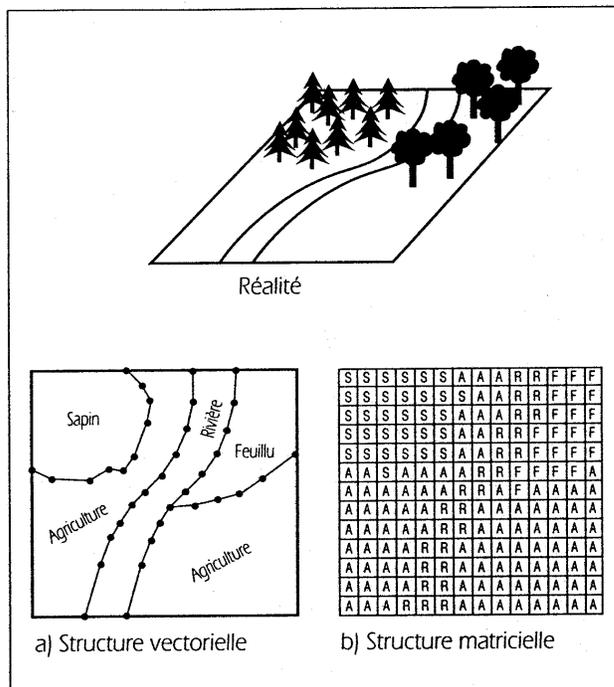
Las imágenes radar, tanto aéreas como desde satélites, toman más y más importancia. Principalmente debido a su capacidad de penetrar las nubes, las imágenes radar ofrecen una posibilidad muy interesante para la forestería en regiones tropicales. Los factores que influyen principalmente la señal radar reflejado por una superficie vegetal son la rugosidad y la orientación de la superficie estudiada, las dimensiones y orientación de las estructuras presentes en el terreno, la humedad del terreno y la naturaleza de los territorios vecinos. La longitud de onda utilizada, el ángulo de la observación, la época de la adquisición de los datos y las condiciones meteorológicas son factores que también influyen de una manera significativa la señal radar. En general, el uso de este tipo de imágenes en aplicaciones forestales esta todavía en la etapa experimental. En este momento, las imágenes radar han mostrado un excelente potencial en la cartografía, el inventario, y la protección de bosques. Estas imágenes necesitan un tratamiento numérico especial y los "software" comerciales que son capaces de realizar este tipo de tratamiento existen en el mercado solo hace unos cinco años. La existencia presente de varios sistemas comerciales aéreos y de satélites con este tipo de sensores como, por ejemplo, ERS (Europa), JESR (Japón) y RADARSAT (Canadá) hará ciertamente aumentar las aplicaciones radar en forestería.

Sistemas de Información Geográfica

Un GIS permite fichar las diferentes poblaciones forestales de un territorio según sus características forestales: porcentaje de cada especie, edad, densidad, altura, etc. Para ser capaz de efectuar esta operación, es necesario utilizar dos tipos de datos. Los datos descriptivos que, en forestería, suministran la información tanto cualitativa como cuantitativa acerca de las diferentes especies forestales y los

datos geométricos que suministran la información espacial -la posición y la forma de estas poblaciones. Estos últimos se almacenan ya sea en una forma vectorial o en una forma matricial -"raster". La figura 1 presenta un ejemplo de la representación vectorial y matricial de una población de pinos, un conjunto de especies diferentes de árboles, un río y un terreno agrícola.

Figura 1 Representación vectorial y matricial de un conjunto de pinos, diferentes especies de árboles, un río y un terreno agrícola



Una vez que el GIS ha aceptado los datos geométricos y descriptivos, es posible efectuar un análisis espacial tanto en dos (2D) como en tres (3D) dimensiones. La primera categoría (2D) comprende análisis como la cartografía temática, la generalización, la superposición y los análisis relacionados con las relaciones de conexión (adyacente e intersección). El segundo grupo (3D) implica estudios de la topografía del territorio, elevación, inclinación, visibilidad, vistas en perspectiva, evaluación de zonas inundadas o asombradas.

El mejor ejemplo a citar como análisis en 2D es la confección de cartas temáticas. Por ejemplo, pedirle al GIS un mapa presentando las poblaciones de pinos de una densidad, altura y edad específica. Otra posibilidad sería, crear un mapa presentando un reagrupamiento de poblaciones forestales en función de la edad; en este caso, el GIS elimina las fronteras entre grupos que presentan el mismo valor del atributo considerado -un proceso de generalización-. A partir de ciertos criterios, es posible de definir nuevos grupos espaciales; por ejemplo, un corredor alrededor de un polígono (un lago) o cada lado de una línea (un río). La figura 2 muestra la creación de un corredor de 20 m alrededor del lago Parent.

posibilidades de simular la evaluación de una zona inundada, de un dique de contención de agua o la planificación de una pista de esquí. Finalmente, los análisis en 2D y 3D pueden efectuarse conjuntamente; por ejemplo, analizar un régimen hidrográfico en función de los sedimentos presentes en el terreno y de su inclinación.

Sistema de Posición Global (GPS)

El primer satélite artificial de la Tierra fué el satélite soviético Sputnik 1 (octubre 1957). Este fué el comienzo de la conquista del espacio por la raza humana. A principios de los años 60, la marina norteamericana utiliza un sistema de navegación por medio de satélites – el sistema Transit. En cuanto al sistema GIS, fué diseñado por el Departamento de Defensa Norteamericano a principios de los años 70. Los primeros cuatro satélites fueron lanzados en 1978 y cuenta desde 1993 con un conjunto de 24 satélites. El costo total de esta operación se cifra en el orden de 10 billones de dólares.

Diseñado inicialmente por fines militares, el sistema GPS a rápidamente encontrado aplicaciones tanto civiles como militares donde se necesita calcular la posición en tres dimensiones (latitud, longitud y altitud) de un observador de una manera continua e instantánea por toda la superficie de la Tierra. Las aplicaciones forestales son numerosas y bien presentadas en la literatura. Kruczinski y Jasumback (1993) presentó 130 posibilidades de aplicación del sistema GPS en forestería y un resumen de ellas es presentado en la Tabla 6. La división de las condiciones de observación en tres grupos es necesaria pues el árbol, en general, es una obstrucción de la señal que llega desde el satélite y la vegetación produce una atenuación de ella.

Tabla 6 Ejemplos de utilización del sistema GPS en forestería

Condiciones de observación	Aplicación	Precisión
Sin Obstrucción	Vigilancia de fuegos forestales (navegación de aviones)	100 m
	Localización de rutas Navegación de aviones para la diseminación de pesticidas	2 – 10 m
	Agrimensura de infraestructuras en campos forestales (antenas de radio, canalización, etc.)	0.2 – 1 m
	Localización de puntos de referencia Cerca de un bosque	1 – 5 cm
	Agrimensura de rutas	2 – 10 m
	Dirección de vehículos cerca de palizadas de protección Al interior de un bosque	0.2 – 1 m

Localización de lugares de observación 2 – 10 m

Agrimensura de trabajos en silvicultura

En general, cada aplicación tiene sus propias necesidades en términos de precisión, presupuesto, tiempo y método de observación. Por ejemplo, para obtener una precisión de 100 m se necesita solamente un receptor en modo absoluto; para obtener una precisión de 0.2 a 1 m se necesitan dos receptores que sean capaces de medir tanto la fase como la pseudo-distancia.

La utilización de esta tecnología permite eliminar varias etapas onerosas en la actualización de mapas forestales; por ejemplo, la fotointerpretación, la transferencia y la planimetría de las observaciones hechas en el terreno. El uso conjunto de un GIS con el GPS permite la actualización continua de mapas e información sobre el terreno forestal. Parear un receptor GPS y una foto aérea permite determinar en tres dimensiones las coordenadas del centro de perspectiva del aparato fotográfico al momento de toma de la foto.

El sistema GPS existirá por lo menos hasta el año 2025. Últimamente se ha agregado a esta constelación de satélites norteamericanos un grupo de 24 satélites rusos – el sistema Glonass. Actualmente, por lo tanto, existen 48 satélites que pueden ser utilizados con los fines de determinar posiciones en la superficie terrestre. Esto aumenta la posibilidad de obtener el mínimo de satélites con la necesaria geometría en lugares poco favorables a las observaciones (como los terrenos forestales).

Ciencias de la Agricultura

Uno de los principales problemas que afronta la humanidad actualmente es el aumento continuo de la población humana. Esto implica la necesidad de utilizar los recursos naturales a su máximo con el fin de producir suficiente víveres para alimentar la población. Una de las condiciones para obtener este fin es la necesidad de disponer de información actualizada respecto al uso de terrenos agrícolas, sus cambios temporales y las condiciones presentes y futuras de las cosechas. En general, las ciencias geomáticas ofrecen las herramientas necesarias para este fin.

Percepción Remota y Fotogrametría

Fotos aéreas han sido usadas en los últimos 50 años extensamente en evaluación de cambios en las condiciones de cosechas. Fotos en blanco y negro, color e infrarrojo son utilizadas para estudiar formas, dimensiones, tono y textura. Enfermedades en cultivos han sido detectados por medio de la fotografía en color infrarrojo. La época de la toma de los datos, el lugar y las condiciones de toma influyen el análisis de la información.

El desarrollo de datos multibanda –desde satélites o aviones- en la década del 70

agregó otra dimensión a este tipo de estudios. En este caso, el objetivo principal es el reconocimiento automático, por medio del uso del computador, de categorías o grupos de cosechas en los datos multibanda -todo el espectro electromagnético (visual, infrarrojo y radar)-. Métodos de segmentación o clasificación no supervisada junto con las características, respuestas espectrales de los distintos tipos de cosechas y técnicas de clasificación supervisada han sido usados por estos fines.

Sistemas de Información Geográfica

En agricultura, el tema más crítico e importante es los cambios, las variaciones presentadas por las cosechas en función de tiempo, tanto al interior de un período de un año. Aunque una cantidad impresionante de investigación se ha efectuado en la interpretación de los datos espaciales desde el punto de vista agrícola, subsisten todavía problemas teóricos de interpretación. Los GIS asumen datos sin errores y carecen de medios para tratar datos en función de tiempo. Desafortunadamente, datos en campos como la agricultura, climatología y ciencias marinas presentan estas características.

Desde un punto de vista canadiense, agricultura y medio ambiente fueron justamente las aplicaciones originales en el desarrollo de los GIS en la década del 80; una situación lógica si consideramos que el Canadá es un país que exporta 80 % de su producción de trigo. Actualmente, datos provenientes de los satélites NOAA y LANDSAT permiten un control operacional de las regiones agrícolas del país. Por ejemplo, Statistics Canadá produce índices de las condiciones de la vegetación durante la estación de crecimiento en la forma de mapas semanales. Un esfuerzo similar al canadiense se encuentra tanto en Europa como en los EEUU. En Europa un intenso programa de investigación se ha desarrollado durante los últimos 30 años. Por ejemplo, diferentes índices de vegetación existen que son aplicables a regiones específicas del continente europeo. Devereux et al. (1997) ha presentado un « A Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) » que ha dado excelentes resultados en el estudio de la biomasa y su relación con desagües y aguas subterráneas. Una comparación de este índice tanto con modelos numéricos de terreno y clasificaciones muestra la importancia de tanto la cobertura vegetal como de la producción de biomasa en la disponibilidad de recursos de agua subterráneas para una región en la isla de Creta, Grecia. Investigadores del « Space Applications Institute, European Commission » en Ispra, Italia han trabajado y trabajan en temas como:

- Cálculo de superficies para varios tipos de cosechas a una escala regional. Para ello usan tanto datos SPOT como LANDSAT, cobertura vegetal a una escala continental. En este caso el satélite NOAA sirve como fuente de datos
- Inventario agrícola y meteorológico de las principales cosechas presentes en Europa. Cálculo de la evapotranspiración potencial a la escala del continente europeo. La integración de la producción de frutas y vinos en los modelos de previsión agrícola europeos

Finalmente, tanto en Europa como en la América del Norte, se investiga activamente el desarrollo de un sistema de ayuda a la decisión para fines agrícolas un « Farm Decision Support System (FDSS)» o la agricultura de precisión « precisión farming » que proporcionaría a los agricultores la oportunidad de integrar diferentes tipos de datos espaciales y efectuar análisis de variaciones dentro de la resolución espaciales de estos datos. En este momento, la mayor parte del trabajo se ha concentrado en los aspectos técnicos del proyecto pero es claro que una agricultura de precisión eficaz será posible solo si múltiples tipos diferentes de datos son integrados y analizados a diferentes escalas. Los datos espaciales deberán incluir, por ejemplo:

Mapas de producción – cantidad de trigo por unidad de superficie, Datos multiespectrales – imágenes SPOT, Earth Observation System (EO). Información agrícola – tipos de terrenos, nutrientes utilizados, etc.

La utilización de un sistema de este tipo debería permitir estudiar tanto las variaciones como las persistencias que existen dentro del campo de observación. Millar et al. (1996) ha demostrado que las variaciones depende de manera significativa de:

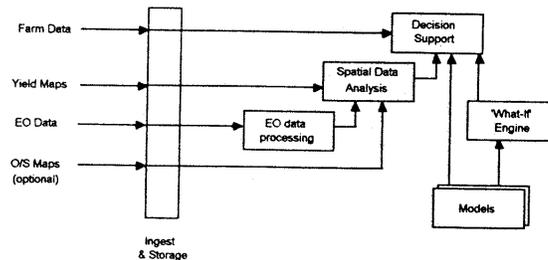
- factores relacionados con el tipo de terreno: estructura, disponibilidad y tipos de nutrientes utilizados
- variables agronómicas como tipos de enfermedades detectadas y cantidad de semillas plantadas
- condiciones meteorológicas y las prácticas de cultivo
- grado de amalgamación y desecamiento, desagüe del terreno

Las persistencias pueden dividirse en dos grupos: (1) al interior de una estación del año y (2) entre las estaciones – invierno y verano. La persistencia al interior de una estación es función del tipo de cosecha, principalmente de la variación del estado de crecimiento de cada cosecha al momento de la toma de los datos espaciales.

El análisis de persistencia indica, por ejemplo, una correlación de 70 % entre los mapas de producción de los años 1994 y 1995 y ~ 55 % entre los valores del « Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) ». Este mismo análisis mostró que datos espectrales (NDVI) y mapas de producción pueden mostrar al interior de un período de crecimiento de una planta una alta correlación entre ellos, pero al mismo tiempo mostrar solamente una pequeña persistencia en su variabilidad espacial. Los autores muestran que esta pequeña persistencia en la variabilidad espacial es debido a las diferentes condiciones meteorológicas existentes entre los años 1994 y 1995. La figura 3 muestra la arquitectura usada en este FDSS. El sistema de decisión (DS) utiliza un « what if » mecanismo que le permite tomar decisiones considerando diferentes modelos – por ejemplo, diferentes precios o cantidad de semillas plantadas. Un FDSS proporciona la posibilidad de integrar

diferentes datos espaciales y efectuar análisis al interior del campo de observación de los datos; al mismo tiempo es capas de completar este análisis con modelos agronómicos e información relacionada con los costos que incurre el agricultor.

Figura 3 Arquitectura de un sistema de ayuda a la decisión para fines agrícolas



Referencias

Burrough, P.A., R. A. McDonnell, 1998, Principles of Geographic Information Sysatems, 2nd edition, Oxford University Press.

Devereux, B., C.R. Costa-Posada, G.S. Amable, 1997, Land Cover and Hydrology of the Messara Catchment, Crete, Proceedings of the 23nd Annual Conference of the Remote Sensing Society, Reading, England.

Millar, C., M.D.Steven, C. Harris, 1996, Satellite Monitoring for Farm Decision Support Systems, Proceedings of the 22nd Annual Conference of the Remote Sensing Society, Durham, England.

Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, 1996, Manuel de Foresterie.