

NECESIDADES DE ENTRENAMIENTO PARA LA PRÓXIMA GENERACIÓN DE EDAFÓLOGOS

G R Hennemann¹, D G Rossiter²
International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC)
Enschede, The Netherlands

Ponencia en la "International Conference on Innovative Technologies in Soil Surveys", Cha-Am, Thailand, 22-26 March 2004, Soil and Water Conservation Society of Thailand.

Traducido y adaptado por Ronald Vargas¹ y Nelson Sanabria¹

¹CLAS – Universidad Mayor de San Simón

1 Introducción

Durante las dos pasadas décadas, el levantamiento y estudio de suelos como otras disciplinas científicas aplicadas, han sido afectadas por el rápido cambio de la sociedad y por ende cambios consecuentes en las necesidades de información tanto pública y privada orientadas a la planificación y manejo. Consecuentemente, el estudio y levantamiento de suelos ha estado acompañado con el avènement de la tecnología, siendo gran parte de esta altamente relevante para la planificación y ejecución de *inventarios del recurso suelo* (SRI).

Se realizaron esfuerzos concertados para lograr los retos propuestos, de manera de mantener y fortalecer la calidad de los inventarios (SRI), reducir el tiempo de ejecución y eficientizar los recursos. Sin embargo, en muchos países los programas de entrenamiento en levantamiento de suelos y SRI, se desarrollan bajo una presión creciente tanto institucional como financiera [en Bolivia, la presión en el estudio y levantamiento de suelos está principalmente relacionada a la falta de aplicabilidad de los SRI realizados, el alto costo que ellos representan, lo que repercutió directamente en el no requerimiento ni financiamiento actual de este tipo de estudios]. Este artículo explora aspectos clave pertinentes as:

- a) La naturaleza general de la demanda cambiante de los SRI, así como la combinación de nuevos y relevantes avances tecnológicos, y recursos limitados de SRI; y
- b) Implicaciones para capacitación y entrenamiento en SRI en el nuevo siglo.

2 Amenazas internas y externas para el SRI

Las pasadas décadas, las actividades relacionadas a los SRI han sufrido una marcada reducción, tanto en países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo. Muchos factores externos han sido responsables para este fenómeno.

La recesión económica en las décadas 80 y 90 marcó un estancamiento y retroceso; otro factor agravante en este aspecto ha sido la dificultad de cuantificar y evaluar los beneficios inmediatos y a largo plazo de los SRI para la región o país en su conjunto. Esto pone en desventaja a los programas SRI en el orden de prioridades de los niveles de planificación nacional [23]. Un tercer factor negativo corresponde a las políticas de liberación económica ampliamente adoptadas durante 1980-1990, resultando en un creciente control del mercado sobre las tierras. Esto ha llevado a una mayor reducción de los SRI y la planificación del uso de la tierra por parte del Gobierno. Finalmente, en muchos países desarrollados el *mapeo* de suelos a las escalas requeridas han sido completadas o casi finalizadas, resultando en un

¹ E-mail: hennemann@itc.nl

² E-mail: rossiter@itc.nl; WWW: <http://www.itc.nl/personal/rossiter/>

cambio de orientación de los recursos financieros hacia otros campos. Esto ha llevado a que en algunos países se recorte el personal drásticamente y peor aún el entrenamiento y capacitación de los recursos humanos especializados.

Adicional a las amenazas externas, el levantamiento y estudio de suelos está debilitado por las deficiencias internas relacionadas a la interfase edafólogo-usuario. Estas pueden ir desde muy pobre precisión, pobre presentación visual y subestandar técnico de los resultados del levantamiento hasta niveles prohibitivos de los requerimientos de personal para el levantamiento, equipos y costos relativos al levantamiento.

Un problema particular es el requerimiento de información a la brevedad: es decir, se hacen requerimientos de SRI sin la anticipación debida es decir no se toma en cuenta el tiempo necesario para la ejecución adecuada de un levantamiento y/o estudio de suelos. En la mayoría de casos, la información de suelos requerida o solicitada no puede ser entregada o provista inmediatamente, lo que conduce a la toma de decisiones sin fundamento (sin respaldo técnico), muchas veces en una total ausencia de información del recurso suelo adecuada y actualizada.

Existe también una creciente demanda de información de suelos especializada que no es recolectada en los levantamientos de suelos de rutina o de "propósitos generales", mas bien está orientada a problemas específicos. Un buen ejemplo, es aquel relacionado al contenido de metales pesados en los suelos en áreas urbanas y peri-urbanas como factores de riesgo para la salud humana [16]. Otro ejemplo, es aquel relacionado al contenido de carbón en el suelo, tanto orgánico como carbonatos, y la fracción detallada de cada uno, para su uso en estudios climáticos [2]. Un levantamiento de suelos convencional no provee habilidades ni técnicas para este tipo de estudios.

Una nueva forma de amenazas al levantamiento de suelos, es aquel relacionado a la aparición de nuevos y rápidos desarrollos relacionados al SIG y Teledetección, degradación de tierras, modelamiento suelo-cultivo, modelamiento ecológico. Muchos de estos modelos son altamente exigentes en cuanto a datos de suelos con la diferencia de que su requerimiento es por datos edáficos de buena calidad. Con la utilización de funciones "pedotransfer" muchas veces se puede llenar datos faltantes, pero se requiere datos primarios edáficos de buena calidad. Aún, los modelos de predicción se corren sin juegos de datos completos, lo que genera resultados irreales y subsecuentemente decisiones pobres y erróneas en el uso y manejo de la tierra [9].

3 Nuevos retos y amenazas en el Siglo 21

3.1 *El incremento de la degradación de tierras y su impacto en la demanda de SRI*

Uno de los grandes desarrollos que afecta la necesidad de los SRI, es el dramático crecimiento en las pasadas décadas de la degradación de tierras inducido por el hombre tanto en países en vías de desarrollo como países desarrollados. Las principales causas para la degradación de tierras son la deforestación, sobre pastoreo y la sobre utilización de tierras. Se ha estimado que globalmente alrededor de 20 millones de km² han sido afectados por algún tipo de degradación de tierras. 50% de esta cifra consiste en erosión hídrica, cerca de 30% erosión eólica y el restante compuesto por degradación de tierras tanto física como química [15]. Las pérdidas productivas y económicas atribuidas a la degradación de tierras son algo alarmantes: en Sud Asia por ejemplo, la pérdida productiva anual se estima en 36 millones de toneladas de cereales equivalente a 5400 millones de \$ por erosión hídrica y 1800 por erosión eólica [6]. El costo total anual por erosión en la agricultura

de USA es cerca de 44 billones de \$ por año, es decir, cerca de 247 \$ por hectárea de cultivos y pasturas. A una escala global, las pérdidas anuales de suelo, cuestan al mundo cerca de 400 millones de \$ por año, o aproximadamente 70\$ por persona por año [12].

Como resultado, la degradación de tierras llegó a ser rápidamente la principal amenaza a la vida de millones de personas, soslayando a la seguridad alimentaria como el problema clave en el desarrollo rural. Sin embargo, la meta de la seguridad alimentaria solo puede ser lograda con la cooperación total de todas las partes envueltas en el, es decir, gobierno, ONGs, sector privado y los agricultores [3]. Así mismo, requiere de un análisis completo de las condiciones específicas de cómo la degradación de tierras se ha dado y establecer las tendencias actuales y futuras de la degradación en un sitio específico. Esto requiere de información de suelos específica y de SRI con propósitos especiales.

El análisis de la degradación de tierras requiere de monitoreo regular del medio ambiente de manera de poder detectar cambios. Esto nos muestra la gran importancia de análisis multi-temporales y espacio-temporales. También, la disposición de datos de la superficie del suelo en escala temporal es crucial para poder analizar elementos de la superficie recientemente desarrollados. La resolución espacial es otro problema crítico en estudios de degradación, de como elementos individuales serán reconocidos para una comprensión total y un análisis de los procesos de degradación predominantes [8].

3.2 Incremento de la escasez de tierras & uso multifuncional de tierras y su impacto en la demanda de SRIs

La cantidad de tierras productivas en el mundo es limitada y la mayoría de ellas ya se encuentra en uso. Debido a la degradación de tierras y en combinación con el crecimiento de la población rural y una rápida expansión de las áreas urbanas, la competición entre diferentes usos de la tierra es cada vez mayor, así como la escasez de tierras [4, 19]. Estos desarrollos también tienen un requerimiento en cuanto al tipo de información de suelos requerida. El levantamiento de suelos en áreas urbanas e industriales es altamente demandado por los Municipios, agencias de salud, y autoridades en general; las técnicas aplicadas en levantamientos rurales deberán ser aplicadas para estos fines [1, 5, 20]. La importancia de estos suelos ha sido reconocida por la Unión Internacional de la Ciencia del Suelo, al crear un grupo de trabajo denominado Suelos de áreas urbanas, industriales, minerales y de tráfico (SUITMA).

Esto implica que los SRI deben ser capaces de proveer información de suelos relevante para usos no agrícolas y usos multi-funcionales de la tierra. En segundo lugar, existe una necesidad para una actitud más orientada al cliente y que exista una relación más amigable entre el usuario final y el producto del levantamiento de suelos. Los clientes pueden requerir información respecto a la probabilidad e incertidumbre de los datos generados, especialmente cuando el estudio requirió de una fuerte inversión. También, existe la posición de cambio institucional de los SRI respecto al levantamiento de suelos promoviendo dentro un contexto interdisciplinario [4, 9, 19].

3.3 El reto de estudios medioambientales

Finalmente, los SRI tienen que enfocarse al reto de los estudios medio ambientales en los cuales dominan los problemas desde contaminación de suelos a niveles de detalle

hasta pérdida de biodiversidad y cambio global a escala regional y global. Todos estos nuevos retos medioambientales requieren una mas amplia base conceptual para los SRI, así como la aplicación de nuevas herramientas relevantes incluyendo el desarrollo de juegos de datos de suelos integrados, multifuncionales en base SIG [4].

4 La aparición de nuevas tecnologías (SR/SIG)

4.1 Nuevos desarrollos con impacto en el SRI

Concurrente a las tendencias de cambio en los requerimientos y demanda de SRI expresadas anteriormente, importantes desarrollos tecnológicos se dieron lugar en el mismo periodo de tiempo. Uno de ellos fue la importante aparición y crecimiento de la tecnología SIG y sensores remotos. El ITC fue fundado en 1951 y para la mitad de los 50s ya estaba dictando cursos en levantamiento de suelos con un mayor énfasis en el uso de fotografías aéreas. Después, el sensoramiento remoto de al tierra a través de satélites comenzó a principio de la década de los 70 con el lanzamiento del Earth Resources Technology Satellite (ERTS). Con una resolución general de 80 m y capacidad multi-espectral restringida por su ancho de bandas, ERTS fue de valor limitado en trabajos de levantamiento de suelos regulares. Sin embargo, esto cambiaria en la década de los 80s con el lanzamiento del satélite Landsat TM, con una resolución espacial de 30 m y SPOT con una resolución espacial de 20 m en bandas multiespectrales y de 10 m pancromática. Así mismo, la resolución espectral mejoro sustancialmente durante este periodo, con bandas más angostas, mayor número y vista espectral mas amplia. Consecuentemente, las imágenes satélite llegaron a ser una herramienta fundamental en inventarios a pequeña escala del recurso suelo y recursos tierra en general.

Aún así, las fotografías aéreas no disminuyeron en cuanto a importancia, muy por el contrario se facilito su integración dentro el SIG gracias al avenimiento de herramientas como los escáneres de bajo costo y alta calidad, y de los SIG (como el ILWIS, programa SIG del ITC casi gratuito), para hacer mosaicos y ortorectificar las fotografías [18]. La época de uso de máquinas para generar mosaicos semi-controlados paso definitivamente, pero la organización del levantamiento de suelos se espera pueda trabajar digitalmente incluso con fotografías aéreas.

Otros importantes avances fueron hechos durante la década de los 90, con el lanzamiento de Landsat 7 y TERRA-ASTER con aún mayor resolución espacial y espectral y un mayor rango espectral. Landsat 7 tiene una resolución espacial de 15 m en las bandas pancromáticas y 60 m en las bandas termales; para TERRA-ASTER estos valores fueron 15 m en el visible y cercano infrarrojo (VNIR) y 90 m en el domino termal infrarrojo (TIR). Muchos otros satélites fueron lanzados durante este periodo incluyendo IKONOS que para su primera vez produjo una resolución espacial de menos de 1 m. Se dieron muchos otros importantes desarrollos como la introducción de visión fuera de nadir que permite la estereovision en imágenes de satélite y generación semi-automática de modelos digitales de elevación (DEM). Es así que la década de los 90 vio un mejoramiento continuo de la calidad de las imágenes de satélite en términos de resolución espacial, espectral y temporal. Mulders [14], resume los principales avances de la Teledetección que fueron hechos durante ese periodo con referencia especial a los levantamientos en áreas montañosas. Esto permitió mayores avances en un número de áreas de relevancia directa a los SRI y estudios de degradación de tierras, por ejemplo, a) enfoques multi-factor para la predicción espacial de movimientos en masa superficiales apoyados por DEM y SIG, (b) aplicación del análisis múltiple espectral de miembros

finales (MESMA) para identificar tipos de cobertura de la tierra, (c) análisis espacio-temporal mejorado y evaluación de las áreas afectadas por degradación de tierras.

Un importante desarrollo concurrente ha sido aquel relacionado a la disponibilidad creciente de datos de la Teledetección vía Internet; muchas de estas fuentes de datos son gratuitas o de muy bajo costo, por ejemplo imágenes TERRA-MODIS y TERRA-ASTER. Así mismo, información temática y topográfica como, Cobertura de la tierra y Geología, están cada vez mas ampliamente disponibles en diferentes fuentes. Datos referente a suelos también se pueden encontrar en línea aunque con algunos problemas [17].

Una nueva herramienta de levantamiento que emergió durante este periodo es el GPS. Integrado junto a un mapa móvil, nos permite una mejor geo-ubicación de los puntos de observación y una mejor precisión del mapeo de límites. Así mismo el GPS nos permite el uso de fotografías aéreas de formato pequeño (SFAP) para aplicaciones SIG en una variedad de campos dentro el levantamiento de recursos naturales incluyendo mapeo de la degradación de suelos, forestería, y estudios de vida silvestre y ecosistemas [8].

Otros nuevos desarrollos incluyen el ascenso de la Geo-estadística que permitió una manera diferente de realizar los estudios: por interpolación geo-estadística de las propiedades o clases de suelo a partir de puntos de observación. Esta técnica ya probó su gran valor por ejemplo en polución de suelos y estudios de salinidad. La Geo-estadística en combinación con la Teledetección es un importante elemento del nuevo enfoque emergente de levantamiento de suelos llamado Pedometrics [13].

Finalmente, deben ser mencionados: el desarrollo y aplicación de sofisticados modelos de crecimiento de cultivos así como modelos de erosión físicos y otros modelos de riesgo a la degradación de tierra. Los antiguos modelos empíricos mostraron crecientemente sus deficiencias cuando se aplicaron fuera de las áreas donde fueron creados y probados. Los nuevos modelos basados en el proceso fueron consecuentemente desarrollados dando mejores resultados pero también mostrando ciertas desventajas: ellos son mas demandantes en cuanto a datos en términos de rango de parámetros y calidad de datos; ellos son frecuentemente difíciles de operar bajo condiciones de campo [11].

4.2 Limitaciones de las nuevas tecnologías

a) Limitaciones técnicas de la Teledetección en SRI.

En las siguientes décadas se espera un mayor adelanto en los avances de la tecnología de la Teledetección en términos de mejoramiento de la resolución espacial, temporal y espectral [14]. Sin embargo, la aplicación de las capacidades actuales de los sensores remotos, que poseen distintas limitaciones en relación a los SRI, se ha hecho evidente. Los suelos a diferencia de la vegetación, son un recurso natural "oculto" en su mayor parte que aparece en la superficie en áreas donde la vegetación presenta cobertura baja como las praderas secas o campos agrícolas. Como resultado, el *mapeo* de los suelos de un área particular, se ha probado que puede realizarse directamente sobre imágenes satelitales, solo en casos especiales [7].

Según Skidmore et al. [22], la examinación de los datos Landsat TM y Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI), encuentra satisfactoriamente correlaciones significantes entre ciertos parámetros del suelo y los bosques de eucaliptus en el Sur Este de Australia. La evidencia parece sugerir que esa correlación fue

principalmente determinada por la influencia del suelo sobre la vegetación, aunque otros factores podrían estar involucrados, como por ejemplo los factores de iluminación causados por el terreno y la reflectancia directa del suelo. Este y otros estudios demuestran que con técnicas complementarias de correlación estadística, el "mapeo" indirecto de parámetros específicos del suelo es muy posible. Índices de proporción como el índice de diferencia normalizada de vegetación (NDVI) pueden ser muy útiles en diferencias de discriminación relacionadas con la condición de la superficie del suelo pero que no puede dar más que un apoyo a las técnicas de interpretación convencionales en el actual SRI.

Los estudios de suelos que tratan con el *mapeo* de erosión son a menudo confrontados con el rápido cambio de la superficie de los suelos, las condiciones de superficie requieren datos multi-temporales de los sensores remotos con alta resolución espacial. Hennemann and Nagelhout [8] analizaron recientemente el desarrollo de los patrones de erosión de viento en el Central Rift Valley de Kenia, y encontraron técnicas regulares de sensores remotos satelitales basadas en datos Landsat TM y ASTER, en gran parte inefectivas para la detección y evaluación de erosión eólica. Aunque se podría obtener una vista general de las áreas actualmente afectadas y también la expansión gradual de estas áreas afectadas en el transcurso de 10 años podría ser monitoreada y evaluada, no habrían distinciones hechas entre las características individuales de la erosión eólica. Como resultado, el análisis adecuado de las relaciones complejas entre los diferentes patrones de erosión, su etapa de desarrollo y sus factores de causa esenciales no fue posible. En vista de esto y la escasez de fotografías aéreas convencionales recientes del área, una cobertura SFAP (Small Format Aerial Photography) fue generada dentro un periodo de tiempo corto y usada exitosamente para el análisis detallado de la erosión eólica.

Las limitaciones de las técnicas de sensoramiento remoto satelital no solo yace en su baja resolución espacial (relativamente) sino también en su resolución espectral limitada en el rango de luz visible: entre diferencias espectrales y dentro las características de erosión eólica en el área, y que ocurren de forma típica dentro el espectro visible, tales diferencias de color del suelo son fácilmente distinguidas con fotografías de color SFAP, pero, mucho menos con las técnicas de sensores remotos satelitales.

b) Limitaciones operacionales e institucionales de RS

La nueva tecnología de Teledetección no solo tiene distintas limitaciones técnicas, sino es a menudo de poca disponibilidad en situaciones de trabajo regulares. Estas se aplican particularmente, a los sistemas más avanzados de resolución espacial y espectral como IKONOS e HYMAP, los cuales son restringidamente costosos, para una rutina de trabajo, pero también los datos predominantes de satélites RS, como por ejemplo, ASTER, que son de bajo costo o incluso gratuitos, quizá no estén disponibles para un determinado lugar de estudio o quizá muestren una inadecuada calidad como resultado de las condiciones de nubosidad o iluminación.

Mulders(1999) [14], menciona dos restricciones principales para la aplicación exitosa y actual de la tecnología Teledetección en levantamientos de geo-recursos: la limitación financiera en inversión de computadoras, impresoras y capacidad de almacenamiento digital en países en desarrollo, lo que limita las capacidades de RS y los SIG por ejemplo en enlazar datos DEM con datos de suelo y otros datos confiables de campo. Sin embargo, esta limitación se está convirtiendo en algo casi inexistente por los avances de la tecnología. Por unos cuantos miles de dólares en una oficina local de levantamiento de suelos se puede obtener un ordenador de gran

capacidad, de ejecución y almacenamiento, con un programa SIG y de tratamiento de imágenes gratis o a bajo costo. ILWIS de propiedad del ITC, es un buen ejemplo, pero también está el recurso-abierto gratuito GRASS y el comercial pero de bajo costo IDRISI como excelentes alternativas frente a los programas comerciales costosos. Entonces, el aspecto económico-tecnológico, no son limitaciones serias para la mayoría de proyectos..

Mucho más seria es la segunda restricción, la *comunicación*: aún existe una escasez general de intercambio entre expertos y usuarios finales a través de talleres, demostraciones y cursos de actualización. También, la comunicación entre expertos y tomadores de decisión RS/SIG debe mejorarse: el último grupo necesita ser informado y cuando es necesario convencido acerca de las capacidades de las nuevas tecnologías en inventarios de geo-recursos y análisis de geo-peligros, permitiendo la integración de estos aspectos dentro la agricultura y la planificación del desarrollo rural.

Y por supuesto, la restricción más seria es la escasez de conocimiento sobre cómo usar esta fabulosa tecnología y estas ricas series de datos. Esto es donde el aprendizaje es más necesario que nunca.

c) Limitaciones de los modelos de predicción.

Los nuevos modelos de predicción de erosión de suelo y crecimiento de cultivo como mencionamos anteriormente, muestran claras ventajas pero desafortunadamente también algunas desventajas sobresalientes: estas son mucho más de demanda de datos en términos de rango de parámetros y calidad de datos que los modelos empíricos convencionales; estos a menudo también son difíciles de operar bajo condiciones de campo. Se espera una mejor ejecución de los modelos espacialmente explícitos (distribuidos), pero [10], revisa las serias dificultades con la aplicación práctica de estos datos.

Más adelante, Stroosnijder (2003), advierte contra la idea común que la nueva tecnología de predicción de erosión hace a las medidas de precisión de erosión menos importante o incluso menos necesarias. El, resume las restricciones principales de los nuevos modelos de erosión hídrica: (a) a menudo hay datos empíricos insuficientes de adecuada calidad para alimentar los nuevos modelos, y (b) existe escasez de fondos para mejorar esa situación por medio del desarrollo de mejores tecnologías, equipos, y personal cualificado, en la medición de erosión del suelo. Como resultado de esto, particularmente la nueva "hambre de datos" de los modelos de predicción de erosión usa mucho de su introducción desde los valores derivados y estimados de las funciones empíricas de pedotransferencia haciendo de ellos, modelos híbridos más que verdaderos procesos-con bases de datos, se convierten en modelos determinísticos.

Aquí, el principal punto de conclusión debería ser que los estudiantes deben apreciar, tanto limitaciones y posibilidades de esta nueva e interesante tecnología. Quizá el cambio real provisto de nuevas herramientas no yace en el uso de estos por si mismo, sino, en mucho más de lo que se pueda averiguar en estas condiciones y en que forma, las nuevas herramientas con varias combinaciones puedan óptimamente ser empleadas para lograr efectivamente una alta calidad de productos SRI a costos reducidos.

4.3 Uso de sinergia entre nuevas y existentes herramientas en SRI.

El panorama general que emerge de lo anterior, es que aunque las nuevas herramientas relevantes en SRI, en muchas situaciones ya han dado excelentes resultados y son prometedoras para el futuro, el mensaje actual de combinación basada en la sinergia de las nuevas tecnologías y las ya existentes, está dando un mejor resultado en términos de calidad técnica, efectividad metodológica y eficiencia de introducción de datos.

Shrestha et al (2004) [21], analizando la degradación de la tierra y los movimientos en el Himalaya nepalés, nota que, la secuencia planificada juiciosamente de las técnicas convencionales (técnicas de foto interpretación y uso de árboles de decisiones) y las nuevas herramientas (uso de técnicas RS y tecnologías de predicción de erosión) está dando óptimos resultados. Otros, similarmente, indican la importancia de encontrar y aplicar combinaciones complementarias de herramientas ya existentes y las nuevas, en el mapeo de suelos y otros recursos naturales y en estudios de degradación de tierras [7, 24]. El ITC se esfuerza por hacer exactamente esto.

5 Asumiendo el reto: desarrollando cursos de entrenamiento relacionados al SRI (Soil resources inventory) en el siglo XXI.

5.1 Afrontando nuevas amenazas y restricciones

a) General

¿Cuáles son las implicaciones directas e indirectas del desarrollo técnico y de sociedad para la educación en levantamientos de suelos y cómo deben ser estos realizados cuando se diseña un curso de entrenamiento SRI?

Para responder adecuadamente a estas preguntas, debemos dar una mirada rápida a las amenazas y restricciones de los aspectos técnico, institucionales y los relacionados a los recursos, que afectan actualmente al desarrollo educacional SRI, Estos serán brevemente discutidos a continuación.

b) Disminución de apoyo a la sociedad y de los recursos financieros para la educación internacional.

Desde principios de los noventa, Institutos Internacionales de entrenamiento y educación como el ITC, se enfrentan a una constante disminución de apoyo en la cooperación al desarrollo tanto del sector público como gubernamental. Esta tendencia ya ha generado su efecto negativo en la reducción de becas por año para el instituto, situación que empeora en los últimos años. Además, este año se aplicará, un sistema de libre mercado basado en la oferta, en la distribución de becas para los diferentes institutos de educación superior de Holanda. Esto probablemente tiene un efecto general positivo sobre la competitividad y la calidad educacional pero también conduzca a una mayor reducción de becas y a la fragmentación de cursos incluidos los de SRI. Fruto de ello, la alternativa de cursos cortos emergerá como un escenario propicio para cumplir las necesidades inmediatas del cliente, pero que estarán vacíos en cuanto a la provisión de coherencia a profundidad de los varios componentes de los SRI, como los participantes lo requieren. Este y otros desarrollos mencionados anteriormente, quizá conduzcan también a una menor visibilidad de SRI cuando se incorpore en cursos

educacionales intitulos: Inventario de recursos naturales, Manejo de biodiversidad y análisis de geo-peligros.

c) Adaptación a demandas de clientes diversos y mercados de educación competitiva.

La diferenciación actual de los grupos de clientes con las nuevas, necesidades divergentes y demandas supone otros retos a los diseñadores de cursos SRI: Cómo acomodar las necesidades y deseos de estos nuevos clientes? Nosotros y otros no podemos esperar la oferta de un curso simplemente titulado "Levantamiento de suelos" y esperar a ser comprendidos por los clientes, dejar solos a 40 estudiantes interesados por año, al mismo tiempo, hay una creciente competición entre organizaciones educacionales y grupos. Esto ha incrementado la necesidad de nuevas alianzas estratégicas entre institutos educacionales SRI. El ITC ha respondido a estos retos con nuevas estrategias de descentralización de su programa educacional.

Esto involucrará entablar arreglos de asociación con organizaciones profesionales cualificadas que se harán cargo de una parte del programa educacional y los cursos del ITC.

Otro tema de estrategia es el establecimiento y formalización de estándares académicos de alta calidad, tratando con los también llamados cursos de acreditación. En los años recientes la acreditación ha convertido la necesidad de educación en la adquisición y el mantenimiento de reconocimiento y reputación internacional.

d) Recursos de tiempo limitados.

El entrenamiento en operación y aplicación profesional de las nuevas tecnologías RS/SIG y otras tecnologías relevantes obviamente requiere mucho tiempo aula. Y también un entrenamiento en muchas herramientas convencionales SRI (por ejemplo: fotointerpretación y técnicas de levantamiento en campo) las cuales continúan siendo indispensables para profesionales SRI, como hemos visto anteriormente. El conocimiento conceptual sólido del modelo suelo-paisaje es aún prerrequisito en el trabajo profesional de los SRI (edafólogos) y debe por lo tanto ser mantenido como parte intrínseca de cualquier formación SRI. Entonces, hay aplicaciones que son inútiles sin el levantamiento de suelos: modelos, procesos de degradación de tierras, interpretación de levantamientos de suelos y evaluación de la aptitud de uso. El efecto combinado de todo esto, es que el entrenamiento o enseñanza moderna de los SRI se ha convertido en demandante de mayor tiempo del que solía ser.

Concurrentemente, la disponibilidad de tiempo general del curso se da bajo una presión creciente de un número de tendencias y desarrollos organizacionales. Una es la disminución de disponibilidad individual de los participantes del curso en general: los profesionales no pueden alargar su estadía fuera de sus organizaciones por un periodo mayor de uno o un año y medio como era usualmente.

Otro factor negativo es la opinión general en algunos círculos de manejo, que consideran a la nueva tecnología como la solución a todos los problemas de recurso-tiempo: lo que tomaba seis meses en elaborarse, ahora puede hacerse en 6 semanas, y un trabajo de seis semanas puede ser hecho en solo seis días. Desafortunadamente, este principio distorsionado es también validado por el aprendizaje o entrenamiento SRI; como resultado, presión adicional es localizada en los directores educacionales para reducir el tiempo invertido en elementos o

módulos relativamente caros y aun indispensables como el entrenamiento en campo para los SRI.

e) ¿Cómo atraer o interesar a jóvenes profesionales prometedores al SRI?

El ingreso de jóvenes profesionales al SRI ha visto una tendencia de disminución desde mediados de los 90s hasta nuestros días. ¿Cómo podemos revertir esta tendencia negativa? ¿Cómo podemos atraer profesionales jóvenes inteligentes y motivados a ser parte del estudio de los suelos? Este es un de los mayores retos para el entrenamiento en SRI en el siglo 21.

Existen las restricciones estructurales comunes como niveles salariales no competitivos y el relativo bajo estatus del trabajo referido al SRI: el trabajo del levantamiento de suelos es tradicionalmente visto como tedioso y sucio (ensuciarse las manos), y toma varios días en campo. No es posible atacar la primera restricción; sin embargo, la imagen problema del SRI puede ser bien enfocada. La pobre imagen actual puede ser corregida mostrando el rol de la nueva tecnología así como enfatizando el amplio contexto medioambiental del moderno SRI, convirtiéndolo a un emprendimiento profesional desafiante y excitante. También podemos enfatizar el amplio rol profesional del edafólogo moderno, activo no solo en el levantamiento de suelos como tal, sino en las necesidades de evaluación, planificación, ejecución, interpretación y necesidades de apoyo de los diversos clientes.

Mejorando nuestras relaciones publicas es por tanto esencial; esto puede lograrse a través de un realce de la atracción del mensaje de relaciones publicas. Sin embargo, es aun mas importante, transmitir el mensaje en Colegios y otra sinistituciones de educación a los futuros profesionales SRI. Existen iniciativas de la educación de la ciencia de suelo basadas en la web (NASA Goddard Space Flight Center, 2003) la cual actualmente comienza a cosechar sus frutos.

La información activa a jóvenes estudiantes y promoviendo un campo profesional particular, han probado ser la mejor forma de difusión. En Holanda, algunas universidades han atravesado un problema particular relacionado al bajo numero de estudiantes interesado en la ciencia, por lo que comenzaron con campanas para reclutar mas adeptos. Ellos determinaron que la solución era a través de una campana de relaciones directas con los potenciales interesados, es decir los estudiantes de secundaria, a partir de ahí, el numero de estudiantes interesados en ciencia se incremento. La pregunta de conclusión resulta en:

¿Cómo incluir todos estos aspectos en nuestros esfuerzos para construir un entrenamiento en SRI que sea moderno, coherente y efectivo tanto profesional como académicamente?

5.2 Tipos de entrenamiento en SRI

A continuación se distinguen cinco tipos de entrenamiento en SRI:

a) Entrenamiento o educación pre-grado: Este es mejor manejado por un currículo estándar de una universidad, fuertemente y creciente en ciencias básicas y matemáticas, enfatizando la ciencia del suelo como tal. No existe mucho tiempo en entrenar en temas específicos relacionados al levantamiento, pero un trabajo de campo para estudiar los paisajes y suelos es deseable. Históricamente, las

organizaciones relacionadas al levantamiento de suelos han contratado a esos graduados y a partir de ello los entrenaron según su lógica.

b) Entrenamiento de profesionales graduados (“institutos en levantamiento de suelos” o cursos de campo). Esta es la esencia del entrenamiento en campo que puede ser expandido para incluir técnicas modernas como captura digital de datos en campo, sensoramiento remoto, e integración de datos en SIG. Sin embargo, los instructores tradicionales, no pueden ellos mismos ser entrenados en estos nuevos métodos. Es aquí donde el SRI está sufriendo más: el entrenamiento o trabajo de campo tradicional de tres a seis meses casi no existe debido a problemas de presupuesto.

c) Entrenamiento en servicio: este tipo de entrenamiento está orientado para profesionales que trabajan actualmente, quienes no pueden dejar sus empleos para aprender técnicas específicas. Este es ideal para introducir una nueva técnica específica, por ejemplo, sensoramiento específico de base satelital o geo-estadística.

d) Entrenamiento académico a graduados: este es el caso del ITC y otras instituciones similares. El grupo cliente corresponde a profesionales que trabajan actualmente y que necesitan un año sólido de nuevo entrenamiento o capacitación a un nivel académico. Esto incluye trabajo de campo y un proyecto de grupo; nuevamente, los problemas de presupuesto hacen que este sea más corto de lo debido.

e) Capacitación de actualización: este tipo de capacitación es dirigido a profesionales que trabajan y quienes no pueden dejar sus puestos de trabajo y ya tienen un segundo grado académico.

5.3 Consideraciones & principios educacionales

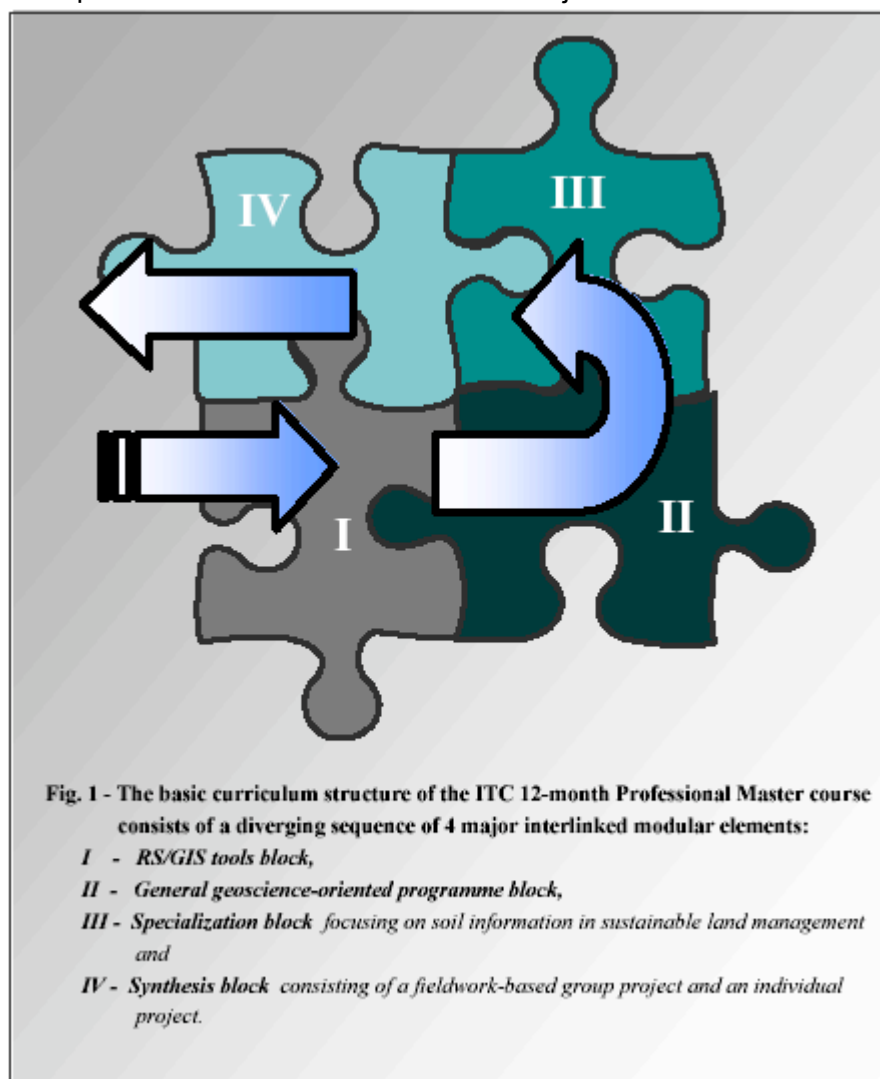
a) Elementos generales de la capacitación moderna en SRI

En la capacitación profesional de SRI, generalmente cuatro elementos curriculares principales pueden ser distinguidos: I - bloque de herramientas generales de SIG/Teledetección (RS), II – Bloque general orientado a las ciencias de la tierra, III - Bloque especializado en levantamiento de suelos y IV – Bloque de síntesis en el que el estudiante lleva adelante un proyecto que incluye trabajo de campo, en el cual todo el conocimiento adquirido en los bloques anteriores es aplicado y utilizado (figura 1). Algunos estudiantes continúan con una Tesis de Maestría en Ciencias en un tema o tópico relacionado a la ciencia del suelo; pero este no es el propósito para el profesional que continuara como un activo edafólogo o levantador del recurso suelo. El conocimiento conceptual del tema se presenta como elementos del curso II y III. La estructura general es secuencial en el que cada elemento sucesivo del curso es construido y utilizando el conocimiento y habilidades acumuladas adquiridas durante todos los elementos anteriores.

b) Consideraciones importantes adicionales y preguntas

Con respecto a la duración y composición más detallada de cada elemento individual del curso, esto depende ampliamente en la perspectiva de los objetivos educacionales del curso. En situaciones con una amplia disponibilidad de datos SRI, se puede dar más atención a la capacitación en el vasto rango de herramientas relevantes SIG, mientras que en un pobre ambiente de datos SRI, más tiempo se

dedicara a las técnicas de adquisición de percepción remota. Otras consideraciones en la lado de la oferta son (a) estableciendo el tiempo mínimo requerido por elemento del curso y (b) concentrándonos en las herramientas SRI que son tanto técnica como económicamente factibles y accesibles para los profesionales SRI operando bajo condiciones actuales de trabajo, y (c) manteniendo una clara orientación al problema a lo largo del curso y de esa manera el participante pueda aprender como aplicar las nuevas herramientas SRI bajo condiciones reales.



Las consideraciones clave en el lado de la demanda son: a) el nivel académico medio y formación profesional de los participantes del curso y b) desarrollo de suficiente flexibilidad de curso para acomodarse a intereses y deseos específicos de cada participante individual.

Una importante pregunta general es: ¿deberán ser las nuevas herramientas SRI enseñadas como un bloque separado o intercalado con aplicaciones SRI? La teoría educacional y nuestra experiencia sugiere fuertemente lo siguiente; la mayoría de personas pero especialmente los profesionales que se encuentran trabajando aprenden teoría solamente de la experiencia, es decir cuando se enfrentan a problemas de su propia área de interés. El problema da atención y motivación, y hace la teoría atractiva al alumno. Desafortunadamente, algunos educadores se concentran enormemente en la tecnología y se olvidan de la gran importancia de su propia experiencia en el tema mismo.

6 Conclusiones

Es importante resaltar que el camino es muy difícil. La gran riqueza de las nuevas técnicas y la diversidad de clientes y demandas que hacen del entorno del levantamiento de suelos hoy en día un desafío muy interesante, requiere edafólogos sofisticados y muy bien entrenados o capacitados (o debemos decir especialistas en “procesos suelo-paisaje”?). Esto sitúa una fuerte demanda educacional tanto en los científicos como tal y en los capacitadores. Debemos hacer más en menor tiempo posible..... ¿cómo podemos hacerlo? . Poniendo más atención al proceso de reclutamiento con énfasis en profesionales con una formación científica y sobretodo entusiasmo en el tema, y además de proveerles un ambiente de aprendizaje continuo en su profesión. Vivimos en una época interesante y no debemos escaparnos del reto.

7 Lista de Referencias

1. Bartsch, H.U., Kues, J., Sbresny, J. And Schneider, J.,1997 *Soil information system as part of a municipal environmental information system*. Environmental Geology. **30**(3/4): p. 189-197.
2. Batjes, N.H.,2001 *Options for increasing carbon sequestration in West African Soils: An exploratory study with special focus on Senegal*. Land Degradation & Development. **12**(2): p. 131-142.
3. Bridges, E.M. And Oldeman, L.R., 2001,*Food production and environmental degradation*, in *Response to Land Degradation*, L.D.H. W.M. Bridges, L.R. Oldeman, F.W.T. Penning de Vries, S.J. Scherr and S. Sombatpanit, Editor. Oxford & IBH Publishing Co. Pvt Ltd New Delhi, India, Khon Kaen, Thailand.
4. Dumanski, J., 1994,*Strategies and opportunities for soil survey information and research.*, in *Soil survey: perspectives & strategies for the 21 st century*, J.A. Zinck, Editor. ITC Publication: Enschede, The Netherlands.
5. Effland, W.R., and Pouyat, R.V.,1997 *The genesis, classification, and mapping of soils in urban areas*. Urban Ecosystems. **1**(4): p. 217-228.
6. Eswaran, H.R. Lal and Reich, P.F., 2001,*Land Degradation: An overview*, in *Response to Land Degradation*, L.D.H. W.M. Bridges, L.R. Oldeman, F.W.T. Penning de Vries, S.J. Scherr and S. Sombatpanit, Editor. Oxford & IBH Publishing Co. Pvt Ltd, New Delhi, India, Khon Kaen, Thailand.
7. Hengl, T., 2003 *Pedometric mapping: bridging the gaps between conventional and pedometric approaches*, in *ITC Series 101*, Editor^Editors. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC): Enschede, The Netherlands. p. 214.
8. Hennemann, G.R. And Nagelhout, A, 2004,*Searching for sound, cost-effective tools for wind erosion analysis.*, in *Handbook for Wind Erosion Control (in review)*, M. Riksen, Editor. Wageningen University and Research Centre: Wageningen, The Netherlands.
9. Ibañez, J.J., Zinck, J.A. And Jiménez-Ballesta, R., 1994,*Soil Survey: old & new challenges.*, in *Soil survey: perspectives & strategies for the 21st century*, J.A.Zinck, Editor. ITC Publication: Enschede, The Netherlands. p. 7-14.
10. Jetten, V., Govers, G. And Hessel, R.,2003 *Erosion models: Quality of spatial predictions*. Hydrological Processes. **17**(5): p. 887-900.
11. Lal, R., 1994 *Soil Erosion Research Methods (2nd edition)*. USA: SWCS.
12. Lal, R.,1998 *Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality*. Critical Reviews in plant Sciences. **17**: p. 319-464.
13. Mcbratney, A.B., Odeh, I.O.A., Bishop, T.F.A., Dunbar, M.S. And Shatar, T.M.,2000 *An overview of pedometrics techniques for use in soil survey*. Geoderma. **97**(3-4): p. 293-327.

14. Mulders, M. *Advances in the application of remote sensing and GIS for surveying of mountainous land*. in *Proceedings of the IUSS/Working Groups RS and DM International Symposium "Remote sensing and GIS for monitoring soil and geomorphic processes to assist integrated development o mountainous land"*. 1999. Ensched, The Netherlands, Kathmandu, Nepal: ESB/IUSS/ITC.
15. Oldeman, L.R., 1994, *The global extent of land degradation*, in *Land resilience and sustainable land use*, D.J.a.I.S. Greenland, Editor. Wallingford: CABI. p. 99-118.
16. Pouyat, R.V. And McDonnell, M.J., 1991 *Heavy metal accumulations in forest soils along an urban-rural gradient in southeastern New York, USA*. *Water, Air, & Soil Pollution*. **57-58**: p. 797-807.
17. Rossiter, D.G., 2004 *Digital soil resource inventories: status and prospects*. *Soil Use & Management*. **20 in press**.
18. Rossiter, D.G. And Hengl, T., ed. 2001 *Creating geometrically-correct photo-interpretations, photomosaics, and base maps for a project GIS.*, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation: Enschede, The Netherlands.
19. Schargel, R., 1994, *Multipurpose applications of soil information*, in *Soil survey: perspectives & strategies for the 21 st century*, J.A.Zinck, Editor. ITC Publication: Enschede, The Netherlands.
20. Short, J.R., Fanning, D.S., Foss, J.E. And Patterson, J.C., 1986 *Soils of the Mall in Washington, DC: II. Genesis, classification, and mapping*. *Soil Science Society of America Journal*. **50**(3): p. 705-710.
21. Shrestha, D.P., J.A.Zinck and E. Van Ranst, 2004 *Modelling land degradation in the Nepalese Himalaya*. *CATENA*. **57**: p. 135-156.
22. Skidmore, A., Varekamp, C. Wilson, L., Knowles, E., and Delaney, J., 1997 *Remote sensing of soils in a eucalypt forest environment*. *international Journal of Remote Sensing*. **18**(1): p. 39-56.
23. Zinck, J.A., 1994a, *Introduction*, in *Soil survey: perspectives & strategies for the 21st century*, J.A. Zinck, Editor. ITC Publication: Enschede, The Netherlands.
24. Zinck, J.A., 1994b, *Discussion topics*, in *Soil survey: perspectives & strategies for the 21 st century*, J.A. Zinck, Editor. ITC: Enschede, The Netherlands.